



**UNIVERSIDAD DE CIENCIAS EMPRESARIALES Y SOCIALES**  
**DEPARTAMENTO DE INVESTIGACION**

**‘La nanotecnología en la salud y el ambiente. Entre los desafíos y el riesgo’**

Informe Final

**Investigadoras:** Adriana Noemí Casabella [adcabu@yahoo.com.ar](mailto:adcabu@yahoo.com.ar)

Alicia Irene Bugallo [alibugallo@yahoo.com](mailto:alibugallo@yahoo.com)

Marzo, 2009

## 1.- Introducción

Se entiende por nanotecnología al estudio, diseño, creación, síntesis, manipulación y aplicación de materiales funcionales y sistemas de control de la materia a escalas del nanómetro (la mil millonésima parte de un metro) o tecnologías comparables a la longitud de una pequeña molécula. A esta escala, la materia presenta propiedades diferentes que pueden ser aplicadas al desarrollo de nuevas tecnologías que ofrecen soluciones a una gran variedad de problemas actuales de la industria, investigación médica y el medio ambiente<sup>1</sup>.

Las implicancias de la nanotecnología para la salud, el ambiente, el trabajo, la economía, etc., son cada día más actuales y acuciantes; se hace necesario profundizar el conocimiento de las mismas por medio de la interacción con las distintas disciplinas que se encuentran involucradas en su puesta en práctica. Uno de los problemas es el tamaño de las nanopartículas o nanomateriales. Aunque en la naturaleza existen nanopartículas como por ejemplo en cenizas volcánicas o en nanocristales de sal en el aire del océano, la cuestión que nos ocupa se refiere a la exposición a nanopartículas producidas artificialmente. Con la miniaturización de los elementos aumenta la superficie de contacto y por lo tanto su potencial reactivo o catalítico.

En efecto, el comportamiento de la materia cambia a escala nanométrica; las propiedades relacionadas con la conductividad eléctrica, elasticidad, fuerza, color y reactividad química pueden resultar radicalmente distintas. Así por ejemplo:

- El carbono en forma de grafito (es decir, mina de lápiz) es suave y maleable, mientras que a escala nanométrica el mismo elemento carbono puede ser más fuerte que el acero y seis veces más liviano.
- El óxido de zinc, que aparece blanco y opaco en la escala de micrones, es transparente a escala nano.
- En nanoescala, el cobre es un metal muy elástico a temperatura ambiente, se extiende a 50 veces su longitud original sin romperse.
- El aluminio, ignífugo, puede entrar espontáneamente en combustión en nanoescala.
- Y dentro de la nanoescala misma, las propiedades de una sustancia pueden cambiar. Por ejemplo algunas nanopartículas de oro son inertes, mientras que otras, también en nanoescala, pero de un tamaño diferente, son muy reactivas.

Dadas sus características disruptivas, y el hecho de surgir en un mercado mundial altamente globalizado, es previsible que la velocidad con que se impongan a nivel mundial, y la extensión que adquiera su difusión en términos geográficos, sea mucho mayor a la de cualquier revolución tecnológica anterior. Se impone entonces la necesidad de ampliar y profundizar el análisis de todos los aspectos implicados en la aplicación de la misma, siendo fundamental propiciar un debate bioético, social, toxicológico y ambiental, a fin de valorar y controlar sus posibles efectos y en definitiva evitar que quienes están en contacto con estos productos y la población toda sean expuestos y/o contaminados por algún componente derivado de su uso.

El desarrollo de la nanotecnología constituye un evento socio-tecnológico, no sólo científico-tecnológico (es decir, constituye un sistema tecnológico emergente). Consideramos que cuando un conjunto de innovaciones se conjugan, como sería en nuestro caso las innovaciones surgidas del avance en las nanociencias básicas y aplicadas, tal combinación suele dar lugar:

- a industrias o servicios nuevos,
- a cambios en el sistema productivo,
- al surgimiento de nuevos hábitos y costumbres sociales,

Todo esto constituye un verdadero sistema tecnológico de partes interrelacionadas, que se van influyendo unas a otras. Esta perspectiva se aplica perfectamente al ámbito del desarrollo y aplicación de las nanotecnologías, las cuales sin duda constituirán un sistema

---

<sup>1</sup> Se ha tenido en cuenta esta definición propuesta en el en el Artículo 32° del Proyecto de Ley Marco para el Plan Nacional Estratégico de Desarrollo de Micro y Nanotecnologías, de 2005.

tecnológico que se presume bastante más radical en relación a los vigentes de la biotecnología, las TIC's, entre otros<sup>2</sup>.

Según la tendencia contemporánea, el ciclo de surgimiento y puesta en aplicación de una innovación tecnológica puede esquematizarse por los siguientes momentos: descubrimiento fundamental, →desarrollo tecnológico,→aparición de consecuencias indeseables o inesperadas, →generación de un problema público para la salud y/o el ambiente. La pregunta que surge es si desarrollo y aplicación de la nanotecnología seguirá los mismos pasos del proceso esquematizado arriba. Ante esta cuestión, adherimos a la hipótesis de la Dra.Conforti sobre el hecho de que: *Plantear estas cuestiones con anticipación y ponderación puede redundar en la utilización de productos mejores y más seguros, que generen menor riesgo en el largo plazo*<sup>3</sup>.

Las nuevas aplicaciones tecnológicas derivadas de la biotecnología, la robótica, las computadoras, los satélites, no han evitado en las últimas décadas el aumento de la pobreza y desigualdad en el mundo, según datos del Programa de Desarrollo Humano de Naciones Unidas (UNDP, 2005). Es por eso que nuestro trabajo se enmarca en la perspectiva de la reflexión bioética, no meramente en la descripción técnica. Etimológicamente, el término *bioética* proviene del griego *bios* y *ethos*; se impone como una *ética de la vida*, extendiendo la consideración no sólo a los seres humanos sino también a los no humanos. Es decir que se toma la noción de bioética en sentido amplio, no restringida sólo al ámbito biomédico en el que parece estar restringida, sino englobando también la reflexión sobre las prácticas biotecnológicas de impacto potencia en la salud y el ambiente<sup>4</sup>.

## **2.- Tipología de los nanomateriales**

El comportamiento de la materia cambia a escala nanométrica, las reglas de la física clásica ya no son aplicables y, en su lugar, son observables los efectos cuánticos. Veamos algunos de los resultados.

### **2.1.- Puntos cuánticos o “quantum dots”**

Como sugiere su nombre, los puntos cuánticos deben sus especiales propiedades a las reglas de la mecánica cuántica, las mismas que exigen que los electrones ocupen en los átomos ciertos niveles de energía. Una molécula de un colorante orgánico, por ejemplo, absorbe sólo fotones, partículas de luz, de la energía necesaria para que sus electrones pasen del estado de reposo a otro estado de energía superior permitido. Es decir, la luz incidente debe tener exactamente la longitud de onda, o color, precisa para ese salto. La molécula emitirá después un fotón al caer el electrón a un nivel de energía más bajo.

Otro fenómeno lo constituyen los semiconductores voluminosos, donde los electrones pueden ocupar dos bandas anchas de energía. Esos materiales pueden absorber fotones de una amplia gama de colores (todos los que tengan energía suficiente para salvar la separación entre las dos bandas), pero emiten luz sólo de una longitud de onda determinada, la correspondiente a la energía del intervalo de banda.

Los puntos cuánticos serían un caso intermedio. Igual que los semiconductores voluminosos, absorben fotones de cualquier energía mayor que la umbral del intervalo de banda, pero la longitud de onda de luz que emiten -su color- depende mucho del tamaño del punto en cuestión. Por consiguiente, un solo tipo de material semiconductor produce un repertorio cromático entero como etiqueta o un código de barras.

Los *quantum dots* tienen interés comercial porque emiten diferentes colores según su tipo. Un punto cuántico en particular o varios puntos de diferentes tamaños pueden estar conectados o incorporados a los materiales, incluido el material biológicos, y actuar como un código de barras o dispositivo de localización. Uno de los proyectos en desarrollo tiene por

---

<sup>2</sup> Quintanilla, Miguel Ángel, *Tecnología: un enfoque filosófico, y otros ensayos de filosofía de la tecnología*, México, Fondo de Cultura Económica, 2005.

<sup>3</sup> Conforti, Visitación, 'La nanotecnología y los riesgos ambientales', *Actas Primer Encuentro NANO MERCOSUR 2007*, Buenos Aires, Fundación Argentina de Nanotecnología, 7-9 de agosto de 2007.

<sup>4</sup> Maliandi, Ricardo, *Ética: conceptos y problemas*, Buenos Aires, Biblos, 3ª edición, 2004.

objeto añadir *quantum dots* a tintas o a los polímeros utilizados en la fabricación de papel moneda como un medio para combatir la falsificación.

También se están utilizando para marcar material biológico *in vitro* e *in vivo* en animales, con fines de investigación, porque que pueden ser inyectados unidos a células o proteínas a fin de rastrear o identificar las biomoléculas específicas marcadas. La esperanza es que algún día los *quantum dots* puedan ser utilizados en seres humanos para tratar y controlar enfermedades como el cáncer. Sin embargo, los investigadores tendrán que proceder con cautela debido a que el material básico para la mayoría de los puntos cuánticos es altamente tóxico como por ejemplo el cadmio y su análisis toxicológico aún no ha sido efectuado.

## **2.2.- Buckyballs y nanotubos de carbono**

Son moléculas de carbono puras, como el diamante y el grafito. La *buckyball* es una esfera hueca de 60 átomos de carbono. Un nanotubo de carbono es una variante de una *buckyball*, como un cilindro alargado, pueden ser huecos, con una única pared o enrollado como un tubo con multiparedes. Ambos, *buckyballs* y nanotubos reflejan un autoensamblado de moléculas, lo que significa que cuando las condiciones son favorables (por ejemplo, la temperatura o la presencia de un catalizador), forman sus propias configuraciones por su propia cuenta. Las *buckyballs* y los nanotubos están recibiendo mucha atención porque pertenecen a los últimos descubrimientos (no se conocían antes de 1985) y, porque tienen propiedades extraordinarias. Las *buckyballs* son huecas, ideales de tamaño para armar nanodispositivos de envío. Los investigadores los sueñan llenos de medicamentos que podrían ser distribuidos en todo el cuerpo o también repletos de combustible para utilizarlos como propulsores de cohetes. Su capacidad de resistir la presión es enorme: en un experimento, un investigador estrelló las *buckyballs* a un exceso de velocidad (a 15000 millas/horas) en una placa de acero y las mismas retornaron intactas.

Los nanotubos son 100 veces más fuertes que el acero y seis veces más livianos, ahora pueden ser producidos con 1 nm de diámetro y varios milímetros de largo. Los nanotubos pueden ser semi-conductores o aislantes, dependiendo de la forma en que las hojas de carbono son enrolladas. Decenas de productos que contienen nanotubos de carbono están comercialmente disponibles (con el fin de aumentar la resistencia sin aumentar de peso). Los investigadores tienen la esperanza de que algún día los nanotubos sustituirán al cableado de cobre y silicio en los chips de los ordenadores.

## **2.3.- Dendrímeros**

Son moléculas orgánicas de estructura globular que alcanzan el tamaño de las proteínas y están caracterizadas por su enorme área superficial interna; pueden configurarse de manera que presenten cavidades con tamaños diferentes; esos espacios son ideales para albergar agentes terapéuticos. Podrían transportar ADN hasta el interior de las células para una terapia génica, operación que realizarían sin el peligro potencial de otro vector importante como son los virus modificados genéticamente.

Aunque no son las únicas estructuras portadoras de fármacos merced a su extensa superficie, los dendrímeros ofrecen un mayor grado de control y flexibilidad. Quizá se llegue a la creación de modelos que espontáneamente se hinchen y liberen la medicina en presencia de moléculas estimuladoras del proceso. Ese tipo de dendrímero, cortado a la medida, soltaría su carga medicinal en los tejidos u órganos indicados.

## **3.- Peligrosidad y riesgo tecnológico**

Ya hay en el mercado cientos de productos que emplean nanotecnología. Entre los novedosos nano-artículos registrados y comercializados en 2004 se encuentran por ejemplo:

- calzado térmico que mantiene la temperatura constante (Aspen Aeogels),
- colchones que repelen el sudor y el polvo (Simmons Bedding Co.),
- palos de golf más resistentes y flexibles (Maruman & Co.),

- cosméticos personales ajustados a la edad, la raza, el sexo, el tipo de piel y la actividad física (Bionova),
- vestidos para heridos y quemados que evitan las infecciones (Westaim Corporation),
- desinfectantes y limpiadores que se aplican en aviones, barcos, submarinos, etc. (EnviroSystems),
- spray que repele el agua y la suciedad, utilizado en la industria de la construcción (BASF),
- vidrios con tratamiento para repeler el agua, la nieve, insectos, etc. (Nanofilm),
- crema contra el dolor muscular (CNBC),
- adhesivos dentales que fijan mejor las coronas (3M ESPE),
- apósitos y vendas recubiertas con nanopartículas de plata destinadas a prevenir las infecciones (Smith & Nephew)
- carotenoides sintéticos como aditivo alimentarios para limonadas, jugos de frutas y margarina (los carotenoides son antioxidantes y pueden convertirse en vitamina A en el cuerpo, BASF)
- agroquímicos como pesticidas con ingredientes activos a escala nanométrica (Syngenta), etc.<sup>5</sup>

La lista se podría ampliar considerablemente con las aplicaciones de los nanocompuestos en el área de la Ingeniería y sus avances en Biomedicina y Salud<sup>6</sup>. Altair nanotecnologías ha desarrollado un producto de limpieza para el agua de estanques piscícolas y piscinas de natación. Incorpora partículas del lantano (La) a escala nanométrica. Los científicos de Kraft Foods, así como investigadores en la Universidad de Rutgers y la Universidad de Connecticut están trabajando en películas de nanopartículas embebidas con sensores que permitan detectar de patógenos alimentarios,

Sin embargo, las conclusiones del Congreso sobre Nanoseguridad organizado en Helsinki en octubre de 2006 insisten en que los nanomateriales son pequeños comparados con las barreras naturales del organismo a los objetos extraños. El informe anual de las Naciones Unidas de 2006 sobre el ambiente, sostiene que si bien la nanotecnología ofrece un enorme potencial para generar beneficios sociales, económicos y ambientales, por otro lado su impacto ambiental es en gran medida desconocido. Harían falta una investigación más sistemática y políticas de control específicas para el sector. Para poder disfrutar de los enormes beneficios de la nanotecnología molecular, es imprescindible afrontar y resolver los riesgos. Para hacer esto, debemos primero comprenderlos, y luego desarrollar planes de acción para prevenirlos.

¿Podría aplicarse, por extensión, la Teoría Social del Riesgo a la temática que nos ocupa? Originalmente vinculada a la caracterización de catástrofes naturales, la teoría social del riesgo implica diversas dimensiones de análisis. Por un lado se considera la *peligrosidad* (el evento disparador) del caso; también la *exposición* (la distribución territorial de bienes y personas que pueden ser afectadas). Al incorporar como factor relevante a la *vulnerabilidad social* (la situación antecedente que permite afrontar la catástrofe en mejores o peores condiciones), la perspectiva que asumimos intenta ir mas allá de la postura reduccionista tecnocéntrica y considera la situación socio-política y ambiental como componentes significativos del riesgo. Y finalmente se incorpora el factor de la *incertidumbre* (aquello que no se conoce pero sobre lo cual, de todos modos, deben tomarse decisiones políticas, legales, de gestión, etc.). Se pondría así en evidencia la construcción socio-histórica del riesgo (natural o antrópico)<sup>7</sup>.

<sup>5</sup> Datos extractados de: Foladori, Guillermo, 'Nanotecnología en Argentina, corriendo tras la liebre', 2005, [en línea] *Biodiversidad en América Latina y el Caribe*, [www.biodiversidadla.org/content/view/full/19706](http://www.biodiversidadla.org/content/view/full/19706), [Consulta: 15 mayo 2008]

<sup>6</sup> Romero, Eder L. y Morilla, María José, 'Nanomedicinas: millones de herramientas en la cabeza de un solo alfiler', *Revista Ciencia Hoy*, Vol. 17 N° 100, agosto-septiembre 2007, pág. 22 a 33.

<sup>7</sup> Hemos seguido las elaboraciones teóricas del equipo de la UBA: Barrenechea, J; E. Gentile; S. González y C. Natenzon "Una propuesta metodológica para el estudio de la vulnerabilidad social en el marco de la teoría social

La *peligrosidad* de los fenómenos vinculados a la aplicación y manipuleo de nanopartículas o nanomateriales quedó ya indicada en la Introducción, vinculada al cambio de escala. El cambio de dimensión de diversas sustancias, la fusión de los reinos de lo vivo y lo inerte en la nano escala para producir materiales y organismos híbridos agregan un factor de peligrosidad inherente, en principio todavía desconocido en toda su amplitud<sup>8</sup>.

#### **4.- La amplitud de los ámbitos de exposición**

Cuando en la teoría social del riesgo hablamos del factor de *exposición* nos referimos a la amplitud o extensión de la población, los seres vivos, el ambiente y los bienes materiales en general, que potencialmente pueden quedar afectados por la eventual aplicación, presencia o difusión de nanomateriales. Como hemos anticipado, estos pueden estar en contacto con nuestra piel por medio de cosméticos y bloqueadores solares, en los campos agrícolas como plaguicidas nanoencapsulados, en nuestras heladeras como aditivos alimentarios, o finalmente en nuestro cuerpo como vehículos para la administración de medicamentos. También están presentes en prendas de vestir (camisas y pantalones 'que no se manchan'), artículos de cocina con teflón, filtros de lavarropas, coberturas de hornos, neumáticos de automóviles, pantallas de televisión, teléfonos celulares y muchos más.

Por su tamaño, las nanopartículas penetran a través de la piel y el torrente sanguíneo, y el sistema inmunológico no las reconoce. Al entrar en contacto con tejidos vivos, las nanopartículas pueden ser origen de la aparición de radicales libres, causando inflamación o daño a los tejidos y posterior crecimiento de tumores. Las nanopartículas de carbono se disuelven en agua, contradiciendo el conocimiento científico existente, y que aun en concentraciones muy pequeñas, son tóxicas para las bacterias del suelo, levantando un alerta sobre la interacción con los ecosistemas naturales.

Desde 2003, un estudio publicado en la revista científica *Nature* mostraba que las nanopartículas pueden ser absorbidas por las lombrices y otros organismos del suelo, con la posibilidad de que asciendan en la cadena alimentaria, llegando, inclusive, a los humanos. Ya existen muchas fuentes de difusión de daños al ambiente por compuestos formulados a nano escala. A pesar de ello, los desechos de laboratorio o producción industrial de nanopartículas se descartan como basura común.

Las nanopartículas pueden ser inhaladas, ingeridas o pasar a través de la piel. Una vez en el torrente sanguíneo, pueden eludir el sistema inmunológico del cuerpo y la barrera hematoencefálica. Irónicamente, las mismas propiedades que hace a la ingeniería de nanopartículas tan atractiva para la elaboración de sistemas de transporte de drogas, a saber, su movilidad en el flujo sanguíneo y la capacidad de penetrar las membranas celulares; también podría tener cualidades que las hacen peligrosas. Debido a esto, los científicos están particularmente preocupados por el uso de nanopartículas en aerosoles.

---

del riesgo". En: *En torno de las metodologías: abordajes cualitativos y cuantitativos*. S. Lago Martínez, G. Gómez Rojas y M. Mauro, coordinadoras. Buenos Aires, Proa XXI, 2003, pág. 179 a 196.

<sup>8</sup> Cabe consignar que si bien por un lado hemos asociado los riesgos de la nano-*tecnología* con la teoría social del riesgo, hubiéramos considerado a la nano-*ciencia* como ciencia *posnorma* de habernos ocupado explícitamente de ella en el presente artículo. La nanociencia puede considerarse un caso 'ciencia posnormal', según la categoría presentada por el epistemólogo argentino Silvio Funtowicz. Una de las características de la *ciencia posnormal* es la necesidad de ampliar la comunidad de pares relevantes. Los actores directamente implicados no deberían ser sólo técnicos; situaciones como Chernobyl, Bhopal o Exxon Valdés recuerdan que la supremacía de los expertos no es tan obvia. Con la nanociencia y sus aplicaciones nanotecnológicas, estamos ante situaciones que no pueden ser abordadas por la ciencia sola, o por una simple consultoría, ya que se requieren no sólo datos, sino de juicios personales que dependen de destrezas de alto nivel, como la sutileza para evaluar el peso de ciertas pruebas (un proceso de contaminación puede considerarse peligroso hasta que se demuestre lo contrario o viceversa). Cuando el impacto global es tan amplio, la incertidumbre no puede ser manejada en el nivel rutinario, técnico, porque entran en juego aspectos más complejos de los problemas, tales como la confiabilidad misma de la información disponible. La interacción activa del conocimiento y la ignorancia es un elemento central de las estructuras teóricas de la nueva nanociencia. Se debería tener en cuenta la opinión de la comunidad (fuera del laboratorio el científico también es un ciudadano amenazado como cualquier otro) y aceptaría enfoques complementarios al suyo propio. Ver por ejemplo Funtowicz, Silvio y Ravetz, Jerome, *Epistemología política. Ciencia con la gente*, Buenos Aires, Centro Editor de América Latina, 1993.

Recientes estudios toxicológicos sobre la salud y el impacto ambiental de nanopartículas fabricadas indican que hay motivos de preocupación:

- Un estudio publicado en julio de 2004 encontró que las *buckyballs* pueden provocar un rápido inicio de daño cerebral en los peces.

- En 2005 los investigadores de la NASA en los Estados Unidos informaron que cuando nanotubos de carbono comercialmente disponibles fueron inyectados en los pulmones de ratas causaron importantes daños pulmonares. (Los investigadores indicaron que la "dosis" de nanotubos fue aproximadamente equivalente a la exposición de trabajadores durante 17 días.)

- En un estudio distinto, investigadores del Instituto Nacional de Seguridad y Salud de los Estados Unidos informó en 2005 un daño sustancial en el ADN en el corazón y en la arteria aorta de ratones que fueron expuestos a nanotubos de carbono.

- En 2005 en la Universidad de Rochester (Estados Unidos), los investigadores encontraron que la inhalación de *buckyballs* en conejos demostraba una mayor susceptibilidad en la coagulación de la sangre.

- Un estudio de 2005 muestra que las *buckyballs* se agrupan en el agua para formar nanopartículas solubles y que, incluso en concentraciones muy bajas podrían dañar las bacterias del suelo, lo que plantea preocupación acerca de cómo estas moléculas de carbono van a interactuar con los ecosistemas naturales.

- Otro estudio mostró que ratas expuestas a nanopartículas de óxido de manganeso registraban una acumulación de éstas en el cerebro.

En la mayoría de los productos que contienen nanotubos, como los paneles de las carrocerías de los coches, las raquetas de tenis, los mástiles de los yates y los cuadros de las bicicletas, las fibras están incrustadas en materiales compuestos, proporcionando resistencia y ligereza. De esta forma es probable que no sean muy dañinos, pero los investigadores afirman que sería necesario realizar más estudios para confirmarlo; no basta con dar por hecho que las personas no están expuestas a los nanotubos de carbono incrustados en otros materiales. Los científicos tendrían que demostrar que la exposición a esos productos es segura (opinión de Andrew Maynard, del Woodrow Wilson International Centre for Scholars, Washington).

Las similitudes entre el tamaño y la estructura de los nanotubos de carbono y los de las fibras de asbesto han planteado siempre un interrogante acerca de cómo podrían afectar los primeros a los pulmones. Las nuevas investigaciones indican que, en ratones, los nanotubos, al igual que el asbesto, causan inflamación del mesotelio, membrana que rodea los pulmones y otros órganos del cuerpo. En el caso del asbesto, la inflamación es una fase que conduce al cáncer letal conocido como mesotelioma. Por lo general, este cáncer tarda entre 20 y 50 años en desarrollarse tras la exposición a las fibras de asbesto.

A principios de 2004 el grupo ETC (Action Group on Erosion, Technology, and Concentration), con sede en Ottawa, (publicó una lista de los principales trabajos científicos que demostraban los efectos adversos de nanopartículas, incluyendo la capacidad de atravesar la barrera de sangre del cerebro, desarrollar cáncer, y otros (ETC, 2005); y el conocimiento de estos efectos nocivos ha aumentado.

## 5.- ¿Todos somos vulnerables?

La *vulnerabilidad*, según la teoría social del riesgo, se vincula por un lado con la situación socio-económica de la población sobre la que impacta un evento peligroso, con el nivel de preparación y respuesta ante tales eventualidades, etc. Los productos nanotecnológicos han llegado al mercado en ausencia de la sensibilización del público y sin supervisión normativa y no parece que estemos especialmente preparados e informados sobre sus riesgos. Cientos de productos que contienen nanotubos o nanopartículas de diferentes elementos circulan en el mercado sin etiquetado ni advertencia, ya que prácticamente no existen regulaciones sobre este tipo de partículas. En este sentido se destaca la necesidad de implementar no sólo estrategias tecnológicas o ingenieriles sino

también *estrategias blandas* no tecnológicas como la adopción de medidas para prevenir y disminuir el impacto negativo de la Nanotecnología, la implementación de sistemas de pronóstico, información y alerta de aplicaciones, la necesidad de planificación y/o regulación de su uso, etc.

¿Existen sectores más vulnerables que otros? Si bien todos los consumidores ya corremos esos riesgos, un grupo particularmente vulnerable a los efectos de las nanopartículas son los trabajadores que participan en el proceso de fabricación o en la manipulación continua de los materiales que las contienen. En octubre de 2004, autoridades de salud del Reino Unido (UK Health and Safety Executive) estimaron que más de 10 mil trabajadores estarían expuestos en su región, y concluyeron que se necesitan evaluaciones sobre los riesgos de trabajar con nanopartículas, además de que no se usan métodos efectivos de protección para evitar la ingestión, inhalación o exposición cutánea de nanopartículas en la producción. En 2005, un estudio de la NASA, reportó que la inyección de nanotubos de carbono comercialmente disponibles provocaron daños significativos en pulmones de ratas. Los investigadores dijeron que la dosis inyectada era equivalente a 17 días de exposición de un trabajador.

A principios de septiembre de 2005, la Asociación Australiana de Sindicatos (ACTU, por sus siglas en inglés) exigió al Senado una investigación sobre los riesgos de la exposición laboral a polvos tóxicos, incluyendo nanopartículas, amenazando inclusive con paralizar la producción si no se toman medidas urgentes. En lo social, puede ocurrir un desequilibrio económico debido a una proliferación de productos baratos, precios aumentados artificialmente que provoquen opresión económica, riesgo personal por uso de la nanotecnología molecular por parte de criminales o terroristas, riesgos por restricciones excesivas para la libertad individual o social, desequilibrio social por nuevos productos o formas de vida, carrera de armas fabricadas con esta tecnología, daños medioambientales derivados de productos no regulados, existencia de un mercado negro que aumente la posibilidad y el peligro de otros riesgos, programas de nanotecnología molecular que compitan entre sí y aumenten la posibilidad y el peligro de otros riesgos, el abandono y/o la ilegalización de la nanotecnología molecular<sup>9</sup> y <sup>10</sup>.

Es claro que esto tendrá efectos profundos sobre la división social del trabajo. Nuevas ramas industriales surgirán y otras desaparecerán. Los textiles vegetales, el hierro, el cobre, el café, el té, como otros tantos productos naturales, pueden llegar a reducirse como mercancías importadas por los países desarrollados y, con ello, sectores enteros de la economía mundial como los conocemos hoy en día se verían trastocados

También las NT tendrán un profundo impacto sobre las clases trabajadoras. Por un lado, porque la multiplicación de funciones que pasan a realizar los productos de la NT reduce significativamente la cantidad de fuerza de trabajo necesaria, tanto al interior del proceso productivo, como también en la manipulación, almacenamiento, transporte y comercialización de antiguos productos que desaparecen del mercado. Por otro lado, porque la menor dependencia de las contingencias ambientales y de los recursos naturales hace previsible un cambio en la localización geográfica de las industrias, con el consecuente desplazamiento de fuerza de trabajo y migración laboral. (ETC Group, 2005b).

Un ejemplo a destacar es el de las acciones que está promoviendo la Unión Internacional de Trabajadores de la Alimentación, Agrícolas, Hoteles, Restaurantes, Tabaco y Afines (UITA), federación internacional de sindicatos de trabajadores de la preparación y procesamiento de comida y bebidas, de hoteles, restaurantes y servicio de comidas, de la agricultura y plantaciones y todas las fases de la producción y procesamiento del tabaco. Se trata de una organización internacional con larga historia, fundada en 1920. Hoy en día incluye 365 organizaciones en 122 países, nucleando a más de 12 millones de trabajadores

---

<sup>9</sup> <http://www.crnano.org/studies.htm> [Consulta 20 enero 2009]

<sup>10</sup> Ver también: Invernizzi, Noela y Foladori, Guillermo, 2005, '¿La nanotecnología como solución a los problemas de los países en desarrollo? Una respuesta y tres moralejas.' [en línea] [www.euroresidentes.com/futuro/nanotecnologia/articulos/la\\_nanotecn](http://www.euroresidentes.com/futuro/nanotecnologia/articulos/la_nanotecn), [Consulta: 15 septiembre 2008]

(UITA, s/f). La Regional Latinoamericana de la UITA (Rel-UITA), en octubre de 2006, celebró en Santo Domingo su 13 Conferencia Regional.

Con la presencia de 95 delegados que representaban a 39 organizaciones de trabajadores pertenecientes a 14 países, aprobó una resolución sobre las nanotecnologías. En sus términos generales la declaración llamó a la discusión pública, advirtiendo que se estaban introduciendo en el mercado productos con nanocomponentes antes que la sociedad civil y los movimientos sociales tuviesen tiempo para evaluar sus posibles implicaciones económicas, ambientales, sociales y en la salud. Además, la declaración advertía sobre la necesidad de no dejar en manos de “expertos” una discusión que implicará profundos cambios sociales. Se trata, posiblemente, de la primera declaración a nivel continental emitida por una federación de sindicatos de trabajadores. Meses después, en marzo de 2007, se realizó el 25 Congreso de la UITA en Ginebra. La Regional Latinoamericana presentó a la discusión la resolución de Santo Domingo, que fue aprobada, extendiendo así su impacto a los 122 países y a los más de 12 millones de trabajadores que agrupa. Una resolución de esa naturaleza, claramente cuestionadora de la forma en que se están imponiendo las nanotecnologías y sus productos, obliga a una reflexión sobre el tema<sup>11</sup>.

En un documento preparado para el South Center, el Grupo ETC (ETC Group, 2005b) analiza los potenciales impactos de las NT en los mercados, particularmente aquellos que afectan a los países en desarrollo. Estudiando el caso del mercado del caucho, el platino y el cobre, el documento muestra que hay procedimientos nanotecnológicos que pueden mejorar la durabilidad de las llantas de autos, que es el principal mercado para el caucho, y que puede reducir significativamente la demanda mundial de dicho producto. También los nanotubos de carbono pueden volverse un efectivo competidor de los cables de cobre, afectando la demanda mundial de este producto. El platino puede ser reemplazado por nanotecnología en su función de catalizador en convertidores y baterías.

Estos son algunos ejemplos de la presión que algunos países exportadores de estas materias primas podrían enfrentar cuando comiencen a sentir la sustitución por productos de la nanotecnología. El grupo ETC estima que las fibras textiles, como el algodón o el yute, pueden ser de las primeras en encontrar sustitutos nanotecnológicos. Con ello, miles o millones de productores rurales y trabajadores agrícolas asalariados se verán afectados, muchos viéndose arrojados a la ruina económica y la pauperización.

## **6.- El desafío de manejar la *incertidumbre***

El avance de la nanociencia y la nanotecnología es comparado a la irrupción de una nueva Revolución Industrial. La novedad destacable sería que su enorme impacto se notará en cuestión de unos pocos años sin que los usuarios, tal vez, estemos prevenidos de los riesgos que tal impacto conlleva. Es indudable la existencia de una manifiesta franja de *incertidumbre* sobre la evolución del fenómeno que nos ocupa.

Un factor de tal incertidumbre lo proveen las zonas grises del conocimiento científico-tecnológico, aquello que todavía no está claro, lo que aún se desconoce. Por ejemplo ¿qué ocurre con los restos de nanoproducidos cuando llegan al final de su vida útil, cuando son desguazados y/o tirados a un basural? ¿Pueden los nanotubos de carbono salir al exterior y quedar disponible para su interacción con el medio? Estas preguntas todavía no tienen respuestas certeras.

Los científicos están proponiendo estrategias para mitigar los posibles efectos tóxicos, el control a escala nanométrica de la superficie química de los materiales, el recubrimiento con sustancias protectoras. Pero ¿existe en la actualidad algún método estandarizado para medir o caracterizar las nanopartículas?, ¿están vigentes las

---

<sup>11</sup> Invernizzi, Noela y Foladori, Guillermo, ‘Nanomedicine, Poverty and Development’, *Development* (12), 2006, pág. 1a 5.

reglamentaciones para garantizar que las partículas que se han fabricado son seguras?, ¿se conoce cuánto tiempo puede durar un revestimiento de protección?

Otro factor de incertidumbre se encuentra justamente al nivel legal-institucional, normativo, de las prácticas y aplicaciones de los nanomateriales. Resulta que en muchos casos la escala nanométrica de una sustancia suele escaparse de la supervisión normativa; si una sustancia ha sido aprobada para su uso en la micro o macro-escala, sus aplicaciones a nanoescala no requieren nuevas restricciones normativas. Por ejemplo, un fabricante de nanotubos de carbono puede identificar su producto como 'grafito' (otro tipo de molécula de carbono puro), siendo que a escala nanométrica el carbono tiene propiedades y aplicaciones muy diferentes a las del grafito. Del mismo modo, si una sustancia ya ha sido aprobada como un aditivo alimentario a una escala mayor (como el dióxido de titanio), las nanopartículas de la misma sustancia no requieren otras medidas reglamentarias nuevas, a pesar de que, por definición, los ingredientes a escala nanométrica pueden tener propiedades radicalmente diferentes, incluidos los diferentes efectos toxicológicos.

Desde 2002, algunas organizaciones de la sociedad civil vienen pidiendo una moratoria sobre la liberación de nanopartículas fabricadas hasta que en laboratorio se hayan establecido protocolos para proteger a los trabajadores y hasta que entren en vigencia reglamentos para proteger a los consumidores y el ambiente. En julio de 2004 un informe de la Real Sociedad y Real Academia de Ingeniería del Reino Unido recomendó que la liberación al medio ambiente de nanopartículas fabricadas y de nanotubos se evite, en lo posible, hasta que se sepa más sobre su impacto. En concreto, recomendó como medida de precaución a las fábricas y laboratorios de investigación el tratamiento de las nanopartículas y nanotubos fabricados como si fueran peligrosos, reducir los flujos de residuos y, además indicó que se prohibía el uso de nanopartículas libres en el medio ambiente para aplicaciones tales como la remediación de aguas subterráneas.

Al igual que con los transgénicos, pero en una escala mucho mayor (porque la nanotecnología toca prácticamente todos los sectores industriales) muchas empresas y gobiernos ignoran el principio de precaución que debería guiar la liberación al consumo y al medio ambiente de compuestos construidos artificialmente y sin evaluación de sus potenciales impactos negativos<sup>12</sup>. Las Naciones Unidas y sus organismos especializados han sido dejados de lado en gran parte en estos debates, al igual que los aportes de la sociedad civil y movimientos sociales. Los gobiernos de los países deben participar y vigilar en estos debates en colaboración con la sociedad civil y en consulta con los científicos. Los gobiernos nacionales deberían establecer un régimen normativo, basado en el principio de precaución, diseñado específicamente para hacer frente a la salud y cuestiones ambientales asociadas con la escala nanométrica de los materiales.

La salud y los riesgos relacionados con la seguridad son importantes para la comunidad internacional. Sin embargo, es crucial que los debates sobre su reglamentación no se limitan a la salud, la seguridad y las cuestiones ambientales - también debe incluir una discusión más amplia de los impactos socioeconómicos, particularmente en los efectos sobre quienes dependen de productos básicos en los países en desarrollo, el control y la propiedad de las tecnologías y los impactos sobre los marginados. China, Japón, la Unión Europea y los Estados Unidos se encuentran entre los países más destacados en el desarrollo de normas internacionales.

En última instancia, las normas mundiales se resolverán y armonizarán por parte de organismos como la Organización Internacional de Normalización (ISO). En la actualidad cuenta con un Comité técnico ISO/TC 229 abocado a establecer normativa sobre Nanotecnologías, por medio de la intervención de 4 grupos de trabajo: Terminología y Nomenclatura; Medición y Caracterización; Salud, Seguridad y Medio Ambiente y Especificación de materiales. La Organización está constituida por 40 países, de los cuales 30 son miembros participantes y 10 miembros observadores (entre estos se encuentra la Argentina con el Instituto IRAM)

---

<sup>12</sup> Ribeiro, Silvia, 'Los problemas de la nanotecnología: salud y ambiente' *La Jornada*, 28-09-2005, (investigadora del grupo ETC)

## 7.- Perspectivas de la nanotecnología en la región

Se considera que en el actual contexto mundial de alta competitividad, los tiempos de los negocios siguen dictando las reglas de la ciencia y de las aplicaciones tecnológicas; ni la nanociencia ni la nanotecnología escapan a esta lógica. Estados Unidos lanzó en 2000 sus programas de inversión en desarrollos en el rubro. Lo siguen Japón, China, Corea y la Unión Europea. América Latina ha tratado desde entonces de no quedar a la zaga. Brasil tomó la iniciativa lanzando su programa nacional de nanotecnología el mismo año 2000. México, por ejemplo, no tiene un programa nacional aunque sostiene varios grupos de investigación y convenios bilaterales con universidades de Estados Unidos.

La Argentina cuenta con el *Proyecto de Ley Marco para el Plan Nacional Estratégico de Desarrollo de Micro y Nanotecnologías*, aprobado en 2005. El mismo avaló la creación del *Fondo Argentino de Nanotecnología*, FAN. En su *Artículo 3º* se presentan los requisitos mínimos que deberá contemplar el *Plan Nacional Estratégico de Desarrollo de las Micro y Nanotecnologías* serán los siguientes:

a) Identificar el tipo de micro y nanotecnologías que desde un punto de vista estratégico será más conveniente introducir y desarrollar en el mercado, de acuerdo a las ventajas competitivas que potencialmente pueda disponer nuestro país durante las próximas décadas.

b) Identificar los grupos de investigación y desarrollo que muestren capacidad para desarrollar investigaciones aplicadas al desarrollo de productos de micro y nanotecnologías especificados en el artículo 3a).

c) Identificar aquellos grupos de investigación y desarrollo con capacidad de transferir al sistema productivo nacional innovaciones y productos de micro y nanotecnologías que puedan comercializarse en el mercado nacional e internacional.

d) Diseñar estrategias para la promoción de incubación de nuevas empresas de capital nacional, con la capacidad de producir y comercializar micro y nanotecnologías desarrolladas en nuestro país.

e) Diseñar y proponer alianzas estratégicas con empresas nacionales e internacionales para el desarrollo, patentamiento, transferencia y comercialización de productos de micro y nanotecnologías.

f) Diseñar y proponer estrategias para la promoción crediticia e impositiva que estimulen el establecimiento de empresas de origen nacional que desarrollen, fabriquen y comercialicen micro y nanotecnologías.

g) Crear mecanismos que apoyen y estimulen el patentamiento nacional e internacional de productos de micro y nanotecnologías desarrollados en el país.

h) Diseñar una estrategia para la formación de recursos humanos que esté de acuerdo con los objetivos del *Plan Nacional Estratégico de Desarrollo de las Micro y Nanotecnologías*.

i) Crear mecanismos que garanticen que los recursos humanos formados bajo los auspicios del *Plan Nacional Estratégico de Desarrollo de las Micro y Nanotecnologías*, permanezcan en el país, a través de la habilitación de nuevas posiciones para tareas de Investigación y desarrollo en las distintas instituciones del sistema científico-tecnológico nacional, como dentro del ámbito de empresas privadas radicadas en nuestro país.

j) Proponer diversos mecanismos que garanticen la financiación necesaria para satisfacer todos los requerimientos y objetivos que sean planteados dentro del *Plan Nacional Estratégico de Desarrollo de las Micro y Nanotecnologías*.

k) Proponer mecanismos de seguimiento y evaluación anual para garantizar el cumplimiento de los objetivos del *Plan Nacional Estratégico de Desarrollo de las Micro y Nanotecnologías*.

1) Establecer un cronograma de tareas y objetivos a ser cumplidos a lo largo de los primeros diez o más años, y presentar revisiones del mismo cada tres años conforme a lo establecido en el Artículo 1º.

m) Establecer y definir los distintos requisitos que deben satisfacer los proyectos de investigación básica, investigación aplicada, desarrollo tecnológico, transferencia tecnológica e innovación productiva, vinculados al *Plan Nacional Estratégico de Desarrollo de las Micro y Nanotecnologías*, a fin de determinar cuáles serán las distintas fuentes de financiamiento, para cada caso, establecidas en el Capítulo II.

n) Coordinar con los países de la región instrumentos de cooperación e integración en el área de la micro y nanotecnología, con el objeto de compartir costos, recursos físicos y humanos.

### **7.1.- Avances destacables**

Como un síntoma claro de la influencia de estas tendencias en nuestra región, podemos mencionar la realización del Encuentro Nano MERCOSUR 2007, '*Ciencia, Empresa y Ambiente*', organizado por la Fundación Argentina de Nanotecnología, en la ciudad de Buenos Aires. El análisis de los documentos allí presentados nos permite apreciar que estamos dando los primeros pasos en la Argentina, donde se cuenta con una buena tradición de científicos.

En la oportunidad, Lino Barañao, presidente de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica, señaló que la inversión pública en nanotecnología ronda los 16 millones de dólares en 2007 estimando que hay aproximadamente 220 investigadores y técnicos vinculados a este campo. Se están publicando 1.200 trabajos por año relacionados con nanotecnología. La mitad se hace en colaboración con investigadores de otros países.

Para el investigador Ernesto Calvo, (Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA y del Conicet) la nanotecnología hoy permite que más jóvenes se queden a investigar en el país. A tal efecto se han organizado cuatro redes para hacer intercambios de estudiantes y prácticas. Y también está el centro binacional con Brasil ya mencionado.

También contamos desde 2005 con el *Centro Brasileño Argentino de Nanociencia y Nanotecnología*.

Eder Romero, investigadora de la Universidad Nacional de Quilmes y del Conicet refirió por su parte la tarea de su grupo de trabajo concentrado en enfermedades de importancia social como el mal de Chagas. Así, se diseñan nanoestructuras que liberan un nuevo fármaco para derribar al parásito que causa la enfermedad. También experimentan con una pomada para la piel de los pacientes con Leishmaniasis, otra infección parasitaria del norte argentino. Con una 'una estrategia de bajo costo', al exponerse al Sol, el paciente se curaría.

Elizabeth Jares-Erijman señaló sus estudios con nanopartículas que permitirían iluminar las zonas precisas de tumores y también llevar terapias.

Galo Soler Illia, de la Comisión Nacional de Energía Atómica, presentó fotos de sus particulares 'esponjas', unas superficies de óxidos y carbón que podrían atrapar sustancias específicas en controles antidoping.

El veterinario del INTA Gustavo Zielinski espera -en colaboración con el INTI- contar pronto con vacunas más efectivas para un tipo de conjuntivitis de las vacas.

Juan José Caprani, del Conicet, describió las nanopartículas que harían que las pinturas sean más resistentes al agua o que evitarían que el mejillón dorado se pegue a los barcos.

Por su parte, Daniel Mártire, Doctor en Química de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP) e Investigador en el Instituto de Investigaciones Físico-Químicas, Teóricas y Aplicadas (INIFTA), orientó el tema hacia los beneficios de la nanotecnología para el ambiente. Destacó procesos como la remediación - o 'limpieza' - de suelos y los tratamientos de aguas contaminadas por el uso de compuestos clorados e hidrocarburos poliaromáticos.

Además describió el uso de nanotubos de carbono y de otros materiales nanoparticulados como sensores de gases contaminantes. También presentó el empleo potencial de nanopartículas magnéticas para eliminar sustancias capaces de afectar el sistema endocrino del ser humano o de otros animales. Según Mártire, la nanotecnología debe desempeñar un papel primordial en la protección del ambiente, aunque la mayoría de estos desarrollos es muy reciente.

El Ingeniero Químico Gerardo López, investigador del Conicet y profesor en la Universidad Tecnológica Nacional se refirió a la empresa argentina Nanotek S.A especializada en remediación de ámbitos que sufrieron, por ejemplo, derrames de hidrocarburos. Destacó que esa empresa es la primera en la Argentina con capacidad instalada para la producción de nanomateriales a escala industrial. Para limpiar sitios contaminados, esa empresa patentó un proceso propio para la fabricación de un material compuesto por nanodendritas metálicas. En su presentación, López destacó que no existen actualmente ofertas de tecnologías maduras para aprovechar a escala industrial estos mecanismos en la remediación ambiental.

Otras importantes expresiones de optimismo tecnológico las hemos encontrado en el Foro Nanotecnología, *‘Investigaciones y Aplicaciones actuales para una Cooperación Argentino-Alemana’* realizado en Buenos Aires el 20 de Octubre de 2008, organizado conjuntamente por la Cámara Argentino-Alemana. Allí se hicieron presentes representantes de la Fundación Argentina de Nanotecnología (FAN) y del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva (MinCyT), entre otras instituciones. En la ocasión, el Dr. Ernesto J. Calvo, CINN, Director del INQUIMAE, UBA-CONICET, Consejo Asesor de la Fundación Argentina de Nanotecnología (FAN), destacó el fomento integral que está recibiendo la Nanotecnología en la Argentina. Por su parte, el Dr. Carlos A. Moina, Coordinador del Grupo Nanotecnología del Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) presentó un panorama de las actividades que se realizan en la institución.

## **7.2.- Riesgos y prevenciones para la región**

En los países del Mercosur ya existen varios productos fabricados con nanopartículas, como electrodomésticos y cosméticos, pero aún se está lejos de alcanzar el nivel de comercialización que tienen Japón, Estados Unidos y países de la Unión Europea. El mensaje de varios expertos asistentes al encuentro Nano MERCOSUR 2007 *‘Ciencia, Empresa y Ambiente’* fue contundente: mejor evaluar cómo prevenir los posibles riesgos antes que su desembarco masivo en la región sea una realidad.

La Dra. Cristina Arakelian, consultora de la Unidad de Gestión Socio-Ambiental de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica, quien coordinó el Panel de expertos de *‘Nanotecnología y Medio Ambiente’*, consideró fundamental debatir en estos momentos acerca de la práctica responsable en este campo; la nanotecnología no sólo podría ayudar a proteger el ambiente, sino que también podría ser una amenaza, si no se realiza un seguimiento de sus efectos a corto y a largo plazo.

Para la Dra María Águeda Castro, investigadora del Departamento de Biodiversidad y Biología Experimental en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA, no podemos estar ni en contra ni a favor del uso de la nanotecnología porque no existen datos suficientes para determinar sus efectos en el medio ambiente. En ese sentido, sostuvo que es importante instalar el debate antes de que los productos con nanotecnología se ofrezcan de manera masiva a los consumidores.

También se resaltó que la Argentina no tiene un marco regulatorio para comercializar los productos con nanotecnología y tampoco existe información al consumidor sobre los mismos. Durante este encuentro, se adelantó a la audiencia –como dato muy importante– que el IRAM (Instituto Argentino de Certificación y Normalización), quien controla productos y servicios, está conformando un grupo de trabajo para desarrollar, entre otros objetivos, un sistema de nomenclatura y análisis de los riesgos ‘nano’ para la salud y el ambiente<sup>13</sup>.

Para la Dra. Visitación Conforti es esencial que los sectores involucrados en la producción de nanotecnología - empresarios, investigadores y Estados - tengan como objetivo “maximizar los beneficios, y minimizar los riesgos” en este campo que está creciendo rápidamente en todo el mundo. Aunque resaltó que la carencia de información actual es un gran obstáculo para lograrlo. ‘No tenemos información sobre el personal que

---

<sup>13</sup> Se ha seguido el proceso en las Jornadas *‘Nanotecnología y Sistema Regulatorio’* ANMAT, Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología médica, Ministerio de Salud, 26 y 27 de noviembre de 2007.

trabaja en nanotecnología, ni sobre los efectos en los ambientes naturales y encima carecemos de una base de datos con datos históricos y actuales de su impacto', dijo la científica. Y remarcó que sería recomendable, al menos hasta que exista más información disponible, 'tratar a los productos 'nano' como peligrosos y al mismo tiempo mantener la vigilancia y el compromiso social'<sup>14</sup>.

Por su parte, el antropólogo y economista Dr. Guillermo Foladori, coordinador de la Red Latinoamericana de Nanotecnología y Sociedad (ReLANS), subrayó un repertorio de medidas mínimas que deberían tomarse con respecto a la nanotecnología, prestando especial interés a la vulnerabilidad social y al impacto económico:

- priorizar las necesidades sociales;
- tener al principio de precaución como guía;
- mantener un posicionamiento estatal con respecto al proceso de patentes;
- mantener la transparencia pública y
- evaluar, a través de institutos sin compromisos de intereses, los riesgos en la salud y el ambiente<sup>15</sup>.

Para el especialista Ernesto Calvo, es obvio que si se establecen normas más fuertes en el control de la contaminación de aguas y suelos, los sistemas basados en la nanotecnología pueden ir más lejos que los tradicionales.

## **8.- Propuesta de una nanotecnología responsable,**

En este sentido, destacamos, a modo de conclusión las tendencias, recomendaciones e investigaciones promovidas desde el *Center for Responsible Nanotechnology* (CRN). El objetivo de Centro de Nanotecnología Responsable es investigar las implicaciones éticas, jurídicas y sociales de la fabricación molecular, y educar tanto a aquellos colectivos que podrán influir sobre su desarrollo y aplicaciones como a las personas que verán su impacto. Se encaran así ambos lados de la cuestión, los beneficios y los riesgos, como las posibilidades que existen para su aplicación responsable.

El centro aspira a ofrecer información precisa y completa, explicaciones claras y propuestas factibles, teniendo en cuenta las variables política, económica, militar, humanitaria y tecnológica. El Centro de Nanotecnología Responsable está trabajando en forma sinérgica con Euroresidentes<sup>16</sup>, legando a un acuerdo de colaboración para difundir las teorías sobre la gestión responsable de la nanotecnología en el mundo de habla española.

Un factor a reconsiderar será el Principio de Precaución. El Protocolo de Montreal, 1987, dedicado a las sustancias que pueden reducir la capa de ozono, hace referencia explícita a medidas de precaución que deben ser tomadas. La Declaración de Río de Janeiro, de 1992, también orienta a los países a tener enfoques precautorios para proteger el ambiente. Este principio consiste, en términos generales, en una medida de política pública a ser aplicada cuando existen riesgos potenciales serios o irreversibles a la salud o el ambiente, y antes que dichos riesgos se transformen en peligros probados. Esta política supone, entre otros, mecanismos de investigación y monitoreo, de manera que puedan ser detectados los peligros con antelación. Supone tomar medidas para proteger la salud y el medio ambiente antes de que existan evidencias científicas contundentes de que existen peligros; o sea que los productos sujetos al principio de precaución deben ofrecer una "certeza razonable con base científica de que no ofrecen peligro". De esta forma, el Principio de Precaución incluye un fundamento científico (no hay peligro) y un fundamento político y de sentido común (certeza razonable).

---

<sup>14</sup> Conforti, Visitación, 'La nanotecnología y los riesgos ambientales', *Actas Primer Encuentro NANO MERCOSUR 2007*, Buenos Aires, Fundación Argentina de Nanotecnología, 7-9 de agosto de 2007.

<sup>15</sup> Foladori, Guillermo, 'Nanotecnología: Mercado vs. Precaución', *Actas Primer Encuentro NANO MERCOSUR 2007*, Buenos Aires, Fundación Argentina de Nanotecnología, 7- 9 de agosto de 2007. Como representante de la Red Latinoamericana de Nanotecnología y Sociedad –ReLANS-.

<sup>16</sup> [http://www.euroresidentes.com/futuro/nanotecnologia/nanotecnologia\\_responsable.htm](http://www.euroresidentes.com/futuro/nanotecnologia/nanotecnologia_responsable.htm), [Consulta: 18 febrero 2009]

las evidencias científicas sobre riesgos de productos de la nanotecnología son aún escasas. Frente a esta ausencia de métodos y datos científicos, una política preventiva y cautelosa sería detener las investigaciones (los trabajadores, los científicos y técnicos de laboratorio pueden verse afectados) y la comercialización de nanopartículas (los consumidores pueden ser afectados) hasta tanto no se realicen suficientes pruebas científicas que demuestren, bien la inexistencia de riesgos, o bien, si los hay, la posibilidad de revertirlos. Se estima que del total del presupuesto destinado a la nanotecnología en el mundo, menos del 4 por ciento está orientado a investigar potenciales riesgos a la salud, el medio ambiente o sus implicaciones legales, éticas, sociales y económicas.

## Bibliografía

Barrenechea, J; E. Gentile; S. González y C. Natenzon “Una propuesta metodológica para el estudio de la vulnerabilidad social en el marco de la teoría social del riesgo”. En: *En torno de las metodologías: abordajes cualitativos y cuantitativos*. S. Lago Martínez, G. Gómez Rojas y M. Mauro, coordinadoras. Buenos Aires, Proa XXI, 2003, pág. 179 a 196.

Conforti, Visitación, ‘La nanotecnología y los riesgos ambientales’, *Actas Primer Encuentro NANO MERCOSUR 2007*, Buenos Aires, Fundación Argentina de Nanotecnología, 7-9 de agosto de 2007.

Foladori, Guillermo, ‘Nanotecnología en Argentina, corriendo tras la liebre’, 2005, [en línea] *Biodiversidad en América Latina y el Caribe*, [www.biodiversidadla.org/content/view/full/19706](http://www.biodiversidadla.org/content/view/full/19706), [Consulta: 15 mayo 2008]

Foladori, Guillermo, ‘Nanotecnología: Mercado vs. Precaución’, *Actas Primer Encuentro NANO MERCOSUR 2007*, Buenos Aires, Fundación Argentina de Nanotecnología, 7- 9 de agosto de 2007. Red Latinoamericana de Nanotecnología y Sociedad –ReLANS-.

Funtowicz, Silvio y Ravetz, Jerome, *Epistemología política. Ciencia con la gente*, Buenos Aires, Centro Editor de América Latina, 1993. <http://www.crnano.org/studies.htm> [Consulta 20 enero 2009]

Invernizzi, Noela y Foladori, Guillermo, 2005, ‘¿La nanotecnología como solución a los problemas de los países en desarrollo? Una respuesta y tres moralejas.’ [www.euroresidentes.com/futuro/nanotecnologia/articulos/la\\_nanotecn](http://www.euroresidentes.com/futuro/nanotecnologia/articulos/la_nanotecn), [Consulta:15-09 2008]

Invernizzi, Noela y Foladori, Guillermo, ‘Nanomedicine, Poverty and Development’, *Development* (12), 2006, pág. 1a 5.

Quintanilla, Miguel Ángel, *Tecnología: un enfoque filosófico, y otros ensayos de filosofía de la tecnología*, México, Fondo de Cultura Económica, 2005.

Maliandi, Ricardo, *Ética: conceptos y problemas*, Buenos Aires, Biblos, 3ª edición, 2004.

Ribeiro, Silvia, ‘Los problemas de la nanotecnología: salud y ambiente’ *La Jornada*, 28-09-2005, (investigadora del grupo ETC)

Romero, Eder L. y Morilla, María José, ‘Nanomedicinas: millones de herramientas en la cabeza de un solo alfiler’, *Revista Ciencia Hoy*, Vol. 17 N° 100, agosto-septiembre 2007, pág. 22 a 33.