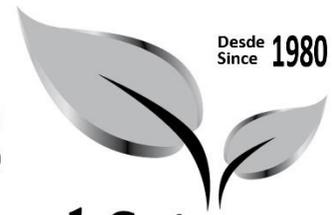




# Revista de CIENCIAS AMBIENTALES Tropical Journal of Environmental Sciences



**Riesgos ambientales de la nanotecnología: nanopartículas y nanoestructuras**

***Environmental Risks of Nanotechnology: Nanoparticles and Nanostructures***

***Gean Carlo Delgado <sup>a</sup>***

<sup>a</sup> El autor es economista economista mexicano, es autor de *La amenaza biológica* (Plaza y Janés 2002), *Biodiversidad, desarrollo sustentable y militarización* (Plaza y Valdés 2004), *Agua y seguridad nacional* (Arena 2005) y *Agua, usos y abusos* (Ceich-Unam 2006).

**Director y Editor:**

Dr. Eduardo Mora-Castellanos

**Consejo Editorial:**

Enrique Lahmann, UICN, Suiza

Enrique Leff, UNAM, México

Marielos Alfaro, Universidad Nacional, Costa Rica

Olman Segura, Universidad Nacional, Costa Rica

Rodrigo Zeledón, Universidad de Costa Rica

Gerardo Budowski, Universidad para la Paz, Costa Rica

**Asistente:**

Rebeca Bolaños-Cerdas



Los artículos publicados se distribuyen bajo una Creative Commons Reconocimiento al autor-No comercial-Compartir igual 4.0 Internacional (CC BY NC SA 4.0 Internacional) basada en una obra en <http://www.revistas.una.ac.cr/ambientales>, lo que implica la posibilidad de que los lectores puedan de forma gratuita descargar, almacenar, copiar y distribuir la versión final aprobada y publicada (*post print*) del artículo, siempre y cuando se realice sin fines comerciales y se mencione la fuente y autoría de la obra.



# Riesgos ambientales de la nanotecnología: nanopartículas y nanoestructuras

GIAN CARLO DELGADO

## Resumen

La nanotecnología, que manipula la materia a la milmillonésima de metro, es asumida como uno de los frentes tecnológicos del siglo XXI de mayores expectativas e implicaciones. Por el momento, el grueso de avances se centran en el desarrollo de novedosos nanomateriales para uso diverso. Las propiedades únicas de las nanopartículas y nanoestructuras que los componen sugieren potenciales implicaciones ambientales y sobre la vida debido a lo incierto de sus interacciones y efectos. Cómo se está asumiendo, evaluando, confrontando y distribuyendo el riesgo ambiental de la nanotecnología son aspectos objeto de esta reflexión.

Nanotechnology, that manipulates matter to the thousand millionth of meter, is assumed as one of the technological fronts of the 21st century of greater expectations and implications. For the moment, most of the advances are centered in the development of new nanomaterials for different use. The unique properties of the nanoparticles and nanostructures that compose them suggest potential implications on the environment and on life due to the uncertainty of their interactions and effects. How the environmental risk of nanotechnology is being assumed, evaluated, confronted and distributed are aspects object of this reflection.

Las promesas que genera la nanotecnología son de tal magnitud que varios países y sus multinacionales, y el grueso de estados capitalistas centrales, están incrementando exponencialmente sus gastos en investigación al respecto. Se dice que entre los campos de operación de mayor potencial en el corto/mediano plazo figuran los que permiten: (1) la construcción de estructuras materiales novedosas, (2) aplicaciones en el procesamiento, almacenamiento y transmisión de información, (3) desarrollo de sistemas sensoriales y (4) usos químicos y nanobiotecnológicos. En el largo plazo destaca, entre otras áreas, el potencial del autoensamblaje de la materia (fabricación de autoensambladores o nanofábricas y nanorrobots -si es que eso es técnica y físicamente posible).

La descripción más adecuada de nanotecnología tal vez sea la contenida en las definiciones oficiales y que, en general, coinciden en que se trata de una tecnología que opera a la nano escala, es decir que trabaja en dimensiones de entre  $10^{-6}$  a  $10^{-9}$  de metro o, siendo más precisos, la que, como indica la Royal Society, opera manipulando estructuras y sus interacciones de entre los 100 nanómetros (nm) hasta el tamaño de los átomos (aproximadamente 0,2 nm). Ello responde a que a esa (nano) escala las propiedades de los materiales pueden ser muy diferentes que a la macro escala (The Royal Society 2004). No obstante, algunas disciplinas como la denominada nanofotónica siguen esencialmente haciendo el mismo tipo de investigaciones que cuando se denominaba fotónica. El caso es compartido por otras áreas de conocimiento científico-tecnológico, lo que sugiere que dicha tendencia de disciplinas madres e hijas (nano) es reflejo de una debilidad de las fronteras entre las disciplinas que operan a una misma escala, pero no como producto de una convergencia espontánea, sino como consecuencia del avance del conjunto de fuerzas productivas capitalistas de fines del siglo XX y de lo que va del XXI.

Por el momento, casi todas las aplicaciones vienen girando en torno al perfeccionamiento de materiales existentes y a la innovación de nuevos materiales. Ésos están siendo utilizados en productos de lujo como bolas de tenis, golf o boliche (a fin de reducir el número de giros que dan las mismas); nanopartículas de zinc para la fabricación de neumáticos de alto rendimiento; fibras para la fabricación de telas con propiedades antimanchas o antiarrugas; nanopartículas para cosméticos, fármacos y nuevos tratamientos terapéuticos; filtros-membranas de agua nanoestructurados y “remedios” ambientales; mejora de procesos productivos mediante la introducción de materiales más resistentes o eficientes; diseño de nuevos materiales para usos que van desde la electrónica, la aeronáutica y toda la industria del transporte hasta su aplicación en armas más sofisticadas y novedosas (explosivos, balística, materiales antibala y *stealth*, etcétera).

Las propiedades de tales materiales nanoestructurados, sustento de éstas y otras aplicaciones, ya han generado un doble llamado de atención. Por un lado, se observa los amplios beneficios que posibilitaría la reestructuración de prácticamente todo el entorno material que nos rodea pero, por otro lado, se identifica las posibles implicaciones

---

Gian Carlo Delgado Ramos, economista mexicano, es autor de *La amenaza biológica* (Plaza y Janés 2002), *Biodiversidad, desarrollo sustentable y militarización* (Plaza y Valdés 2004), *Agua y seguridad nacional* (Arena 2005) y *Agua, usos y abusos* (Ceiih-Unam 2006).

que esa transformación generaría en el ambiente y, de ahí, en la salud, puesto que estarían presentes novedosas nanopartículas y nanoestructuras diseñadas por el ser humano (en adelante simplemente denominadas nanopartículas o nanoestructuras) cuyas características, en su gran mayoría, son todavía desconocidas.

## Principales tipos de nanopartículas

Cuatro son las principales clases en las que en general son clasificados los nanomateriales (Epa 2004: 6): (1) Materiales de base de carbón: con formas esféricas, elipsoidales o tubulares; los fullerenos <sup>1</sup> esféricos son a veces denominados *buckyballs*, mientras que los cilíndrico-tubulares como *nanotubos*; sus propiedades fundamentales son su reducido peso y su mayor dureza, elasticidad y conductibilidad eléctrica, entre otras. (2) Materiales de base metálica: pueden ser *quantum dots* (puntos cuánticos o transistores de un solo electrón <sup>2</sup>) o nanopartículas de oro, plata o de metales reactivos como el dióxido de titanio, entre otras. (3) Dendrimeros: polímeros nanométricos contruidos a modo de árbol en el que las ramas crecen a partir de otras y así sucesivamente; las terminaciones de cada cadena de ramas pueden diseñarse para ejecutar funciones químicas específicas -una propiedad útil para los procesos catalíticos-; además, dado que tienen cavidades internas, su uso médico para la “entrega de droga” es factible (lo mismo sucede con el caso de algunas estructuras de carbón y metálicas). (4) Composites: combinan ciertas nanopartículas con otras o con materiales de mayor dimensión; el caso de arcillas nanoestructuradas es un ejemplo de uso extendido para la fabricación de diversos productos (e.g. autopartes).

## Implicaciones ambientales de los nanomateriales

Se ha señalado que las propiedades que se están aprovechando de las nanoestructuras y nanomateriales mencionados (por ejemplo: su superficie altamente reactiva y su habilidad de atravesar membranas) podrían significar peligros importantes en especial por su grado potencialmente elevado de toxicidad (The Royal Society 2004: 35). Las implicaciones ambientales en relación con tal toxicidad y con la biodegradabilidad de las nanopartículas y los efectos de éstas en la salud de las diversidad de especies (incluyendo la humana), en el corto y en el mediano plazo, son de consideración puesto que se estima que podrían interferir en las funciones vitales (Ibid.). La bioacumulación y persistencia de las nanopartículas a lo largo de la cadena alimenticia es también un factor digno de observación detenida <sup>3</sup>.

El asunto es complejo dado que en la nanociencia hay notables vacíos de conocimiento, entre los se identifica como más importantes: (a) la insuficiente definición “del punto” en el que de hecho las propiedades cambian en relación con el tamaño (macro/micro/nano escala), (b) la limitada claridad acerca de esas propiedades de la nanoescala y (c) el casi nulo conocimiento de las implicaciones de la interacción de tales o cuales nanoestructuras con el medio natural (Delgado 2006: 11-16).

La ingeniera ambiental Nora Savage, de la Environmental Protection Agency (EU), indica al respecto que “los compuestos sobre los que tenemos datos toxicológicos, de destino/transporte o de bioacumulación/biodisponibilidad tal vez necesiten ser re-analizados debido al hecho de que en la nanoescala las propiedades químicas y físicas usualmente se alteran ... [E]stamos aprendiendo que: (1) estos materiales necesitan ser [física y químicamente] bien caracterizados de modo que los resultados de las investigaciones puedan ser comparables, (2) que puede no ser tan apropiado examinar el uso de nanomateriales diseñados que el de los productos consumibles en los que éstos son incorporados y que (3) no es suficiente afirmar que los nanomateriales fijados o incrustados en matrices no implican peligro ambiental o humano alguno -el destino final del producto debe ser considerado: si el producto es quemado, puesto en la tierra con líquidos y gases reactivos, reciclado, etcétera” (Ibid.: 14).

Vicki Colvin, directora ejecutiva del Centre for Biological and Environmental Nanotechnology de la Rice University, asegura entonces que “ya sea un catalizador de zinc incrustado en el caucho de un neumático o plomo en pintura para casas, la concentración de sustancias no-naturales en el ambiente incrementará en proporción directa con su uso en la sociedad. Si las aplicaciones de nanomateriales de ingeniería se desarrollan como se tiene

<sup>1</sup> Un fullereno es la tercera forma alotrópica de carbono (diamante, grafito y fullereno). Fue descubierta en 1985 como una sustancia donde cada molécula poseía sesenta átomos de carbono engarzados a modo esférico o elipsoidal. Si bien el C60 es el más común, también hay fullerenos de carbono de más átomos como el C70, C84, C240, C540. En 1991 se detectó una forma más de carbono, el nanotubo, que es un fullereno muy grande pero de forma lineal.

<sup>2</sup> Un punto cuántico es una estructura cristalina a nanoescala que puede transformar la luz. Se puede definir como una partícula de materia tan pequeña (el 70 por ciento de sus átomos son de superficie) que la adición de un único electrón produce cambios en sus propiedades. El punto cuántico se considera que tiene una mayor flexibilidad que otros materiales fluorescentes, lo que lo hace apropiado para utilizarlo en construcciones a nanoescala de aplicaciones computacionales donde la luz es utilizada para procesar la información. Los puntos cuánticos están hechos de una variedad de diferentes componentes, tales como cadmio y selenio (Diccionario de Conceptos de Euroresidentes, en: [www.euroresidentes.com/futuro/nanotecnologia/diccionario/puntos\\_cuanticos.htm](http://www.euroresidentes.com/futuro/nanotecnologia/diccionario/puntos_cuanticos.htm)).

<sup>3</sup> La bioacumulación de nanopartículas es en buena medida determinada por las propiedades de sus superficies, lo que a su vez define si son retenidas por tejidos grasos, hueso o proteínas del cuerpo. La persistencia dependerá, en cambio, de su descomposición o modificación por el ambiente (The Royal Society 2004: 45).

proyectado, el incremento de concentraciones de nanomateriales en el agua subterránea y la tierra puede representar los canales de exposición más significativos para evaluar los riesgos ambientales” (Colvin 2003: 1166-1170).

Según notifica Mihail Roco, director del subcomité en Nanoscale Science, Engineering and Technology del National Sciences and Technology Council, que asesora al ejecutivo de EU, en la coyuntura actual las preocupaciones inmediatas cubren aspectos que van desde un mayor conocimiento acerca de la toxicidad de los nanoproductos, los mecanismos y rutas de exposición a nanoproductos en el aire, agua y suelo, hasta la efectividad de equipo protector para los que manejan tales productos como ropa y respiradores, las reacciones celulares ante nanopartículas o nanoestructuras y los mecanismos de prevención de escape de nanopartículas sintéticas en el ambiente (Roco 2005: 108A).

Para ello es necesario determinar de modo general y particular las características de los nanomateriales en interacción con el medio natural (y consecuentemente de sus posibles transformaciones). Esto es, por tanto, aspectos como: sus mecanismos de transporte o movimiento en aire, tierra y agua y su capacidad de difusión (e.g. aerodinámica, de filtración en medios porosos como la tierra, o de disolución/dispersión en medios acuosos), de aglomeración, de deposición húmeda y seca, de sus propiedades gravitacionales; de su reactividad con moléculas o nanopartículas naturales (no diseñadas o nanoestructuradas) y cómo ello afecta sus características generales, incluyendo su toxicidad, o de cambios inducidos por reacciones fotocatalizadoras o inducidas por condiciones anaeróbicas (Epa 2005: 35-38).

Y es que algunas de las potenciales implicaciones de las nanotecnologías ya comienzan a vislumbrarse. La Royal Society suscribió en 2004 que “la evidencia sugiere que por lo menos algunas nanopartículas manufacturadas serán más tóxicas por unidad de masa que aquellas del mismo químico pero de mayor dimensión. Esta toxicidad está relacionada al área de superficie de las nanopartículas (que es mayor respecto a su masa que en el caso de partículas más grandes) y a la reactividad química de la superficie (que puede incrementarse o reducirse mediante el uso de una película envolvente dada *-surface coatings*)” (The Royal Society: ix).

Tal reactividad química de la superficie de las nanopartículas es de mayor consideración ambiental pues se piensa que las enzimas naturales presentes en el ambiente pueden cambiar las propiedades de la superficie de las nanopartículas y convertirlas en coloides (partículas que no se conglomeran y que no se depositan, por lo que mantienen un alto grado de movilidad en líquidos)<sup>4</sup>. Estas nanopartículas con características coloidales, según un informe de la aseguradora Swiss Re, podrían ser ideales para la transportación a larga distancia (dígase acuíferos) de material tóxico como contaminantes hidrofóbicos y metales pesados, por ejemplo al reaccionar con moléculas mayores pero de menor movilidad como las ya contenidas en fertilizantes y pesticidas (Hett 2004).

Igualmente se advierte que, considerando la reactividad de los fullerenos, éstos se tornan potencialmente tóxicos sobre todo si se toma en cuenta que son materiales lipofílicos que tienden a ser almacenados por los organismos en zonas de tejidos grasos. De ahí que Eva Oberdorster (2004: 1058-1062) haya corroborado que los fullerenos como el C<sub>60</sub> pueden inducir un estrés oxidante en los cerebros de los peces róbalo. Más aun, Lovern y Klaper (2006: 1132-1137) sugieren un considerable grado de mortalidad del *Daphnia Magna* (un diminuto crustáceo, popular alimento para peces de acuario, y usualmente utilizado por su sensibilidad en estudios de ecotoxicológicos) cuando son expuestos a nanopartículas de dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>) y al fullereno C<sub>60</sub>.

Otros estudios de Oberdorster *et al.* (2002: 1531-1543, 2004: 437-445) sostienen también que, con base en estudios con ratas, las nanopartículas de carbón pueden entrar directamente desde la nariz hacia los lóbulos olfativos y hasta el cerebro, a través de los nervios olfativos (Mark 12-14 octubre 2004: 33).

Otros estudios han señalado que, además de que ciertos nanomateriales podrían ser efectivos como agentes bactericidas tanto para bacterias positivas como negativas en un cultivo dado, en particular los fullerenos del tipo C<sub>60</sub> podrían potencialmente inhibir de modo importante el crecimiento y la respiración de los microbios (Epa 2005: 59). Asimismo, Yang y Watts (s.f.: 122-132)<sup>5</sup> reportan que las nanopartículas de aluminio (de 13 nanómetros) pueden estar involucradas en el enlentecimiento del crecimiento de las raíces de plantas como el maíz, calabacín, soya, col y zanahoria. Aunque si las nanopartículas son cubiertas de fenantrene (un hidrocarburo aromático) dichos efectos se aminoran. El caso de nanopartículas de aluminio de mayor dimensión no registraron tal impacto en las plantas y los resultados se limitan a ensayos de laboratorio. De ser válidos los señalamientos anteriores fuera del laboratorio, el impacto de la masiva liberación de esas nanopartículas y nanoestructuras en el ambiente podría ser devastador, sobre todo en las zonas endémicas y megadiversas del orbe.

De cara a tales y otras indagaciones científicas que de entrada muestran lo limitado que aún es el conocimiento sobre el comportamiento y características de las nanoestructuras, la respuesta general de esa comunidad ha sido que

---

<sup>4</sup> Por ejemplo, Colvin sostiene que ciertos nanomateriales podrían absorber pequeños contaminantes como el cadmio y otros compuestos orgánicos, y, consecuentemente, como los coloides, podrían ser una vía de transporte rápido y a larga distancia de contaminantes en las aguas subterráneas (Colvin 2002).

<sup>5</sup> Yang, L. y D. J. Watts. “Particle surface characteristics may play an important role in phytotoxicity of alumina nanoparticles”, en *Toxicology Letters* 158:122-132.

los resultados son provisionales y que traen más preguntas que respuestas, razón por la que, según Eva Oberdörster, se trata en el peor de los casos más bien de “luces amarillas” y de ninguna manera de “luces rojas” (Feder 2004). De cualquier modo, como acertadamente advierte Altmann, “llama la atención el hecho de que las nanopartículas estén siendo usadas en productos haciendo solo uso de la licencia sobre el material en bruto a pesar de que cada artículo sobre la temática sostiene que (1) a la nanoescala la materia muestra diferentes propiedades, y (2) las nanopartículas pueden entrar a través de los poros donde otras más grandes no pueden” (Delgado Junio-2006: 14).

Efectivamente, todo indica que los cuidados, las regulaciones y las responsabilidades de quienes están desarrollando tales o cuales aplicaciones no están correspondiendo a la complejidad de este frente tecnológico. Como advierte ETC Group (Junio-2004) desde 2004: la nanociencia y la nanotecnología se están desarrollando en un vacío de regulación. El señalamiento aún es válido al día de hoy, aunque hay que reconocer que a partir de 2005 sí se reconoce formal y extendidamente la existencia de potenciales peligros y la urgencia de investigaciones mayores desde las cuales *eventualmente* se desprenderían las regulaciones “necesarias”.

No sorprende entonces que en este panorama todavía de vacío de regulación ya existan cientos de productos con nanoestructuras o nanopartículas en el mercado mundial sin mayor regulación específica <sup>6</sup>. Ni mucho menos que se sucediera tal vez uno de los primeros incidentes con un producto comercial que al parecer hace uso de nanopartículas. Me refiero al sonado caso del spray de limpieza Nano Magic, de Kleinmann (Alemania), que ocasionó en abril de 2006 efectos de intoxicación a 78 personas y que resultará en el retiro del mercado de ese producto (al menos provisionalmente) <sup>7</sup>. Tal vez lo más coherente de cara a la supuesta ausencia de resultados contundentes sobre los potenciales riesgos ambientales y a la salud sea, en efecto, la aplicación del *principio precautorio*.

## Nanopartículas y riesgo

En el estudio de los posibles impactos negativos de la nanotecnología hay un acuerdo entre los conocedores del tema a nivel internacional -explícito e implícito- de legitimación del debate sobre las nanopartículas y los nanomateriales; no así en el caso de las implicaciones éticas y socio-económicas de los avances resultantes de las *tecnologías convergentes* (nanotecnología-biotecnología-electroinformática) <sup>8</sup>. Al mismo tiempo, hay igualmente una generalizada descalificación de los debates sobre los peligros que podría acarrear la nanotecnología de manufactura molecular (del tipo de Eric Drexler) a pesar de que aún no se ha demostrado científicamente su inviabilidad <sup>9</sup>. Tener presente este escenario es útil cuando uno da cuenta de por qué muchos especialistas insisten en hablar de los riesgos de la nanotecnología desde ópticas encuadradas en distintos tipos de nanotecnologías y en diversos marcos temporales de su desarrollo.

Por ejemplo, Berube señala de manera cierta pero comprometida que “una falsa creencia en los estudios de riesgo ha sido que las consecuencias futuras han de ser examinadas de cara a las capacidades actuales para minimizar el grado de peligro. Como tal, mientras la nanotecnología en el año 2.250 podría incluir nanorobots replicantes, también incluiría medios avanzados para mitigar los impactos que éstos podrían generar” (Berube 2005: 278). Correcto, pero se trata de una posición que peligrosamente raya con el *optimismo tecnológico* y que de acogerse podría resultar en una postura política que irresponsablemente minimizara el grado de riesgo de las aplicaciones nanotecnológicas en el largo plazo y que, además, no necesariamente sería atinada pues en el futuro próximo se podrían revelar fuertes límites científico-tecnológicos que restringirían las mencionadas soluciones tecnológicas y, por ende, muchas consecuencias serían entonces irreversibles. No obstante, debe notarse que la minimización de riesgos sí es una posición política altamente funcional respecto de la lógica del capitalismo, pues lo importante es el aquí y el ahora, las transacciones de mercado y los efectos en el corto plazo. Como diría Keynes, “en el largo plazo todos estaremos muertos”.

---

<sup>6</sup> Para una lista de los productos que abiertamente reconocen el uso de nanopartículas, véase la página del proyecto en “Nanotecnologías Emergentes” del Woodrow Wilson International Center for Scholars en: [www.nanotechproject.org/index.php?id=44&action=view](http://www.nanotechproject.org/index.php?id=44&action=view)

<sup>7</sup> El caso ha sido resultado de un alto grado de irresponsabilidad. La versión de la empresa es que el producto es el único producido por una filial (cuyo nombre no reveló), razón por la cual no se tuvo los mismos niveles de control que con el resto de productos de la compañía (incluyendo otros que también usan nanopartículas). La comunidad de “expertos” sostiene que aún no se sabe si en esos spray había realmente nanopartículas, y, en caso de que sí, de lo que se trataría es de un caso de impertinencia y no de incertidumbre de la nanotecnología per se pues Kleinmann probablemente desconocía los estudios de seguridad ambiental y de salud sobre los compuestos que estaba utilizando. No obstante, el producto estaba etiquetado como seguro. Véase Weiss 6-4-06. Para la versión de Kleinmann, consúltese: [www.kleinmann.net/html/index.php?name=News&file=article&sid=117](http://www.kleinmann.net/html/index.php?name=News&file=article&sid=117).

<sup>8</sup> Por ejemplo, entre las más cuestionables están aquellas aplicaciones dirigidas a la manipulación del cuerpo mediante sofisticados implantes u otros procedimientos y que están siendo calificadas por EU como la “mejora del cuerpo humano” (lo que sea que eso signifique). Véase Roco 2002.

<sup>9</sup> Una de las principales razones de dicha descalificación sin basarse en una seria y detenida evaluación científica de su viabilidad, es que Drexler advertía que, a pesar de los inmensos beneficios que este tipo de nanotecnología podría ofrecer, al mismo tiempo podría traer complejos problemas como el que denomina gray-goo o nubes de nanorobots autorreplicables fuera de control (Drexler 1986). La aceptación de la remota posibilidad de tal riesgo (si es que es física y técnicamente posible) resulta en términos políticos inaceptable pues significaría el rechazo público de la investigación y desarrollo de la nanotecnología, lo que complicaría y restringiría su avance y afectaría los fuertes intereses en el nanonegocio. Para una discusión crítica al respecto, véase: Mody 2004: 99-128.

Además, debe darse cuenta de que las repercusiones del estrechamiento del estudio sobre las implicaciones de la nanotecnología en el largo plazo (por ésta y otras razones) son mucho más sutiles de lo que parecen. Por ejemplo, el motor de combustión interna en sí mismo no genera grandes impactos. Sin embargo, cuando vemos en el largo plazo el empleo masivo de éste, nos topamos con repercusiones no solo en lo referente a la disponibilidad de fuentes de combustible sino, sobre todo, en lo atingente a los efectos que producen los gases generados por la quema de éstos en millardos de motores funcionando a la vez. Las soluciones tecnológicas al motor de combustión interna en el grueso de los casos ciertamente ya existen, pero los impactos sobre el efecto invernadero y el calentamiento global ya son patentes. Y, más aun, la implementación de contramedidas tecnológicas ya no depende de la existencia de tales soluciones, sino de intereses socioeconómicos y relaciones sociopolíticas establecidas. Por tanto, la potencial y eventual “minimización” de los efectos de una tecnología dada en el largo plazo -por la vía del propio desarrollo tecnológico- no parece ser conveniente, pues las consecuencias de nuestras decisiones actuales tendrán que ser resueltas (o no) por las generaciones futuras, si es que nuestros cálculos sobre el avance tecnológico fueron correctos y si nuestra dimensión de precaución sobre la amplitud de los efectos e implicaciones fue la “adecuada”.

Conviene entonces preguntarse hasta qué punto vale la pena correr los riesgos de abrir la caja de Pandora de la nanotecnología en el futuro y a qué costo; sobre todo en un escenario en el que buena parte de la investigación, a decir de la Dra. Dehmer, de la Office of Basic Energy Sciences del Departamento de Energía de EU, está centrándose en un gran reto: “tomar diferentes tipos de nanoestructuras en las que la naturaleza no ha pensado, ponerlas juntas en diversas formas de modo que podamos hacer cosas que la naturaleza no ha hecho y, en particular, hacer cosas que sean más robustas que los sistemas naturales” (United States Senate 23-9-03: 7).

En el caso de las nanopartículas se han de realizar, entonces, estudios sobre su reactividad *per se* y sus interacciones con el ambiente, no solo inmediatas y reducidas a espacios determinados sino también en el largo plazo y en una situación de saturación ambiental con diversas nanopartículas pululando y potencialmente reactivas que, además, no tienen nada de natural, pues las ha diseñado el humano (¿si fueran tan convencionales para qué se estarían nanofabricando?). Las aproximaciones del flujo de los nanomateriales desde la perspectiva de la ecología industrial pueden ser de gran ayuda para tal propósito.

Lo mismo sucede con las nanopartículas en relación con la salud humana, pues la investigación precautoria no solo debe enmarcarse en torno a análisis toxicológicos (exposición inmediata) sino también a las potenciales implicaciones de largo plazo que podría generar una convivencia permanente con esas nanopartículas (dígase potenciales modificaciones genéticas hereditarias <sup>10</sup>).

La incertidumbre de lo que califica atinadamente Paulo Martins (Delgado Junio-2006) como la creación de una “nueva naturaleza” sugiere ser mayor, al grado que aseguradoras como Allianz AG (Alemania) ya consideran que “los riesgos de la nanotecnología tendrán que ser parte del portafolio de seguros industriales” <sup>11</sup>.

Por tanto, la incertidumbre de la disruptiva nanotecnología y el coste de los accidentes que eventualmente podrían, o no, suceder han de ser tomados en cuenta pero evitando las soluciones con tinte de optimismo tecnológico y tomando nota de las particularidades vistas en toda su amplitud espacio-temporal. Con este tipo de ejercicios de reflexión se puede visualizar mejor los posibles costos de las decisiones tomadas hoy; quiénes pagarían ese coste ahora y en las generaciones futuras, y quiénes recibirían tal o cual beneficio (potencial o real). Y es que no es más que teniendo clara la complejidad del asunto, tanto en el corto, en el mediano como en el largo plazo, que se puede tomar decisiones más responsables -aunque no necesariamente correctas- y, más aun, socialmente concertadas (con la siempre compleja cuestión de cómo tomar en cuenta “las opiniones” de las generaciones futuras).

En esta coyuntura de manejo de riesgo e independientemente de la manera en la que se ha gestionado (pro-activa y/o reactivamente; ya sea en el “aquí y el ahora” o en el “hoy, aquí, el mañana y allá”), Andrew Maynard sugería a principios de 2006 que los gobiernos y la industria debían incrementar su gasto en investigación sobre los riesgos para el ambiente y para la salud provenientes de las nanotecnologías, pues de los nueve millardos de dólares que se gastan a nivel mundial en IyD nanotecnológico solamente entre 15 y 40 millones anuales son destinados a investigaciones de riesgos. “¿Es suficiente?”, cuestionaba Maynard, al tiempo que respondía: “bueno, creo que eso depende de que tan serios somos en cuanto al desarrollo de nanotecnologías seguras” <sup>12</sup>.

---

<sup>10</sup> Tómese nota de un estudio de Yusaku Nakabeppu et al. (citado por Coghlan 6-5-06: 16) en el que se sugiere que los agentes ambientales con capacidad de causar cambios químicos en el ADN pueden incrementar a lo largo de la vida la cantidad de mutaciones que ocurren en nuestro ADN durante la formación de huevos o células espermatozoides y, por tanto, heredar tales mutaciones que podrían influir fuertemente en el reordenamiento de los cromosomas.

<sup>11</sup> La aseguradora especifica que “varios puntos básicos definen posibles escenarios de riesgo por nanopartículas: (a) un alto incremento en el número de personas que estarán expuestas; (b) potenciales efectos dañinos que se esperan se desarrollen en largos periodos de varios años; (c) en casos individuales será difícil establecer una relación causal entre las acciones de una compañía y la resultante injuria o daño; (d) la exposición ocupacional es la mayor preocupación; (e) una cierta cercanía con pérdidas mayores del pasado será evidente” (Lauterwasser 2005: 5).

<sup>12</sup> Maynard es miembro del proyecto en Nanotecnologías Emergentes del Woodrow Wilson International Center for Scholars (EU). Véase: “Nanodollars”, en New Scientist 25-2-06: 25, y “Nano safety call”, en New Scientist 11-2-06: 7.

Este señalamiento ya había sido puesto sobre la mesa desde 2004 por ETC Group cuando advertía que debido a que las aplicaciones y las implicaciones están mezcladas en el entonces 11 por ciento del presupuesto gubernamental de EU para Investigación Nanotecnológica en Salud y Medio Ambiente, realmente es difícil saber cuánto del financiamiento es destinado a determinar el riesgo y la toxicidad y cuánto al desarrollo de productos para ser utilizados en el ambiente o la medicina.

No es casual que David Rejeski, director del proyecto en Nanotecnologías Emergentes del Woodrow Wilson International Center for Scholars, señalara en una audiencia ante la Casa de Representantes de EU que “necesitamos una completa y transparente revelación de todas las investigaciones en medioambiente, salud y seguridad que están siendo financiadas por el gobierno -de todos los proyectos, no solamente la suma monetaria de éstos. Ello nos permitirá identificar los vacíos, mejorar la asociación con la industria y con otros países para llenar esos vacíos y, al margen, estratégicamente invertir o *desinvertir*” (Rejeski 2005). Y agregaba: “estaremos enfrentándonos con riesgos nanotecnológicos por décadas. Estos riesgos serán más complejos conforme lo nano y la biotecnología converjan, y no menos... Debemos prepararnos para lo inesperado. La nanotecnología está planeada para ser disruptiva, por lo que no es algo en lo que debiéramos ser engreídos o estar sobre confiados” (Ibid.).

### Referencias bibliográficas

- Berube, David. 2005. *Nano-Hype*. Prometheus Books. EU.
- Coghlan, Andy. “How Chemicals Can Speed Up Evolution”, en *New Scientist* 6-5-06.
- Colvin, Vicky. “Responsible Nanotechnology: Looking Beyond the Good News”, en *EurekAlert! Nanotechnology In Context*. Noviembre de 2002. Disponible en: <http://www.eurekalert.org/context.php?context=nano&show=essays&essaydate=1102>
- Colvin, Vicky. “The potencial environmental impact of engineered nanomaterials”, en *Nature Biotechnology* 21, 2003 (EU).
- Delgado, Gian Carlo. “Nano-Conceptions: A Sociological Insight of Nanotechnology Conceptions”, en *The Journal of Philosophy, Science and Law*, 1-7-2006 (EU).
- Drexler, Eric. 1986. *Engines of Creation*. Anchor Books. EU.
- ETC Group. “Nanotech News in Living Colour: An Update on White Papers, Red Flags, Green Goo, Grey Goo”, en *Communique* 85, mayo-junio 2004.
- ETC Group. “Nanotech Advancing in Legal Vacuum”, en *ETC Group News Release* 30-6-04.
- Epa (Environmental Protection Agency). Diciembre-2005. *Nanotechnology White Paper*. EPA’s Science Policy Council. EU.
- Feder, Barnaby J. “Health Concerns in Nanotechnology”, en *The New York Times*, 29-3-04.
- Hett, Annabelle. 2004. *Nanotechnology. Small matter, many unknowns*. Swiss Re. Zurich.
- Lauterwasser, Christoph. 2005. *Opportunities and Risks of Nanotechnologies*. Allianz AG. Center for Technology / OECD. Londres.
- Lovern, Sarah y Rebecca Klaper. “Daphnia Magna Mortality When Exposed to Totanium Dioxide and Fullerene (C60) Nanoparticles”, en *Environmental Toxicology and Chemistry*. 4, Vol 25, 2006 (EU).
- Mody, Cyrus. “Small, but Determined: Technological Determinism in Nanoscience”, en *International Journal for Philosophy of Chemistry* 2, Vol. 10, 2004.
- Oberdorster, Eva. “Manufactured nanomaterial (fullerenes, C60) induce oxidative stress in the brain of juvenile largemouth bass”, en *Environmental Health Perspectives* 10, Vol. 12, 2004 (EU).
- Oberdorster, G. et al., Sharp, Z., Atudorei, V., Elder, A., Gelein, R., Kreyling, W., and Cox, C. “Translocation of inhaled ultrafine particles to the brain”, en *Inhalation Toxicology* 16, 2004 (EU) 437-445
- Oberdorster, G. et al. “Extrapulmonary translocation of ultrafine carbon particles following whole-body inhalation exposure of rats”, en *Journal of Toxicology and Environmental Health A* 65, 2002 (EU): 1531-1543.
- Rejeski, David. 2005. *Environmental and Safety Impacts of Nanotechnology: What Research is Needed?*. (Pronunciamento ante el Comité de Ciencia de la Casa de Representantes, 17-11-05). EU.
- Royal Society. 2004. *Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties*. Londres.
- Roco, Mihail. “Responsible of Nanotechnology”, en *Environmental Science & Technology* 1 de marzo de 2005: 108A.
- Weiss, Rick. “Nanotech Product Recalled in Germany”, en *The Washington Post* 6-4-06.
- Roco, Mihail y William Bainbridge. 2002. *Converging Technologies for Improving Human Performance*. National Science Foundation. EU.
- United Sates Senate. *Roundtable on Health Technology*. Hearing of the Committee on Health, Education, Labor, and Pensions. No. 108-247. US Government Printing Office. EU. 23-9-03: 7.
- Yang, L. y D. J. Watts. “Particle surface characteristics may play an important role in phytotoxicity of alumina nanoparticles”, en *Toxicology Letters* 158.

[www.galeriaambientalista.com](http://www.galeriaambientalista.com)

MILES DE FOTOS  
DEL AMBIENTE TICO  
Y MESOAMERICANO

