

¡No es poca cosa!

Las partículas nanotecnológicas penetran las células vivas y se acumulan en los órganos animales

Asunto: En una reunión de evaluación de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos a mediados de marzo, los investigadores participantes informaron que se están encontrando nanopartículas en el hígado de animales de laboratorio, que las células vivas pueden absorber nanopartículas, y que éstas se pueden adherir a bacterias y entrar así en la cadena alimentaria. Compararon el uso comercial de carbono a nanoescala con “lo mejor que se ha inventado después del pan rebanado... o asbesto mejorado.” A pesar de estas revelaciones, no hay ningún cuerpo regulatorio (ni planes para formarlo) dedicado al escrutinio profundo de esta potente y poderosamente invasiva tecnología nueva.

Contexto: Los promotores de la nanotecnología la presentan como la más verde y la más efectiva de las herramientas tecnológicas de todos los tiempos y aseguran que las manipulaciones atómicas a nanoescala resolverán nuestros problemas ambientales y garantizarán el desarrollo, —no solo *sustentable*, sino *perpetuo*. La *nanotecnología* es la manipulación de la materia a partir de elementos de la Tabla Periódica (átomos y agrupaciones de átomos [moléculas] a escala de nanómetros [nm], es decir, un milésimo de un millonésimo de un metro). A nanoescala, los átomos funcionan en el reino fantástico de la física cuántica, donde los elementos comunes pueden mostrar propiedades extraordinarias, como alta resistencia, tolerancia a la temperatura, diferentes colores, reactividad química o conductividad eléctrica; todas características que serían inconcebibles a escalas micro o macro para esos mismos elementos. Hay compañías que ya están produciendo toneladas de nanomateriales comerciales que se usan como catalizadores, en cosméticos, pinturas, barnices, coberturas, telas y para proveer extra resistencia. Algunos de los materiales utilizados son compuestos conocidos anteriormente pero que nunca han sido comercializados a escala nanométrica; otros materiales son elementos modificados atómicamente que no existen en la naturaleza. Se están manufacturando por primera vez algunas nuevas formas de carbono (un componente de todos los seres vivos) —llamados nanotubos y fulerenos— y su impacto en el ambiente es desconocido.

Implicaciones: La nanotecnología —incluyendo la nanobiotecnología— ha sido señalada y promocionada por la industria y los gobiernos como la revolución industrial más abarcativa y más rápida del mundo, que hará aparecer los anteriores logros tecnológicos como pequeños pasos. En el mercado ya se encuentran más de 450 empresas dedicadas a la nanotecnología produciendo una serie de “nano productos veteranos” (por ejemplo, partículas usadas en cosméticos y aerosoles) y “nano productos nuevos” (como chips, sensores y nuevas formas de carbono). El gasto global en investigación y desarrollo en nanotecnología es de 4, 000 millones de dólares y está en dinámico aumento. La Fundación Nacional de la Ciencia de los Estados Unidos predice que dentro de diez años toda la industria de los semiconductores y la mitad de la industria farmacéutica dependerán de la nanotecnología, y que para el 2015, el mercado global de nanotecnología será de 1 billón de dólares¹ La industria peleará muy duro para asegurarse de que las preocupaciones ambientales y de salud no retrasen el progreso de la nanotecnología como ha ocurrido con la biotecnología.

Políticas: Debido a que la nanotecnología generalmente trabaja con los bloques elementales que forman la vida —y no con lo vivo directamente — ha logrado evadir en gran medida el escrutinio social, político y regulatorio. Hasta ahora, la Administración de Alimentos y Drogas de los Estados Unidos (FDA) no ha establecido políticas o normativas que consideren la seguridad de las nanopartículas en productos que ya se encuentran en el mercado. Dadas las preocupaciones relativas a la contaminación de organismos vivos con nanopartículas, los Jefes de Estado que asistan a la Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sustentable, en Johannesburgo (26 de agosto a 4 de septiembre del 2002), deben declarar una moratoria inmediata sobre la producción comercial de materiales nanotecnológicos y promover un proceso global transparente de evaluación de las implicaciones de esta tecnología en la sociedad, la economía, la salud y el ambiente.

“Una de nuestras conclusiones es que sea lo sea que estas cosas [los nanomateriales] vayan a hacer, no son inertes. ¿Qué ocasionarán cuando sean liberados en el ambiente, y que pasará cuando se introduzcan en la gente?”² —Dra. Vicky Colvin, profesora y codirectora del Centro para la Nanotecnología Biológica y Ambiental, Universidad de Rice, Texas.

El tamaño sí importa: La nanotecnología opera en un reino invisible a simple vista, pero que además también es invisible para los instrumentos más sensibles. A nanoescala, las “materias primas” son los diversos elementos atómicos de la Tabla Periódica. La industria predice que la nanotecnología se convertirá en la Gran Habilitadora, ya que permitirá que las computadoras se vuelvan más pequeñas y más inteligentes, hará que los fármacos sean más flexibles para que trabajen mejor y más rápido; creará catalizadores que sean más reactivos (para dinamizar las reacciones químicas en el proceso de refinamiento del petróleo, por ejemplo); construirá biosensores que puedan monitorear cultivos, depredadores y agentes de guerra biológica. Yendo un poco más lejos en el tiempo, muchos predicen que la nanotecnología tendrá el potencial de hacer crecer cultivos, ser policías y que serán los frentes de guerra en la defensa militar.

La nanotecnología que se usa hoy es menos abarcativa, solo se enfoca en los materiales sub-microscópicos que tienen propiedades útiles. Los investigadores encontraron que las partículas a nanoescala se comportan diferente que las partículas del mismo material a macroescala. Solamente reduciendo el tamaño, sin cambiar la sustancia, los materiales pueden ser más fuertes o más livianos, o más resistentes al calor, o mejores conductores de electricidad. Es como magia, como sacar algo de un sombrero. Sin embargo lo que sale del sombrero es lo mismo que estaba adentro, solo que inmensamente más pequeño y más fuerte —Clark Kent convertido en Super Ratón!

Realidades de la materia: Apegándonos a la definición más estricta de nanotecnología, aproximadamente 470 compañías nanotecnológicas se distribuyen de manera uniforme en Norteamérica, Asia y Europa.³ Actualmente, más de un tercio de esas compañías están trabajando con nanopartículas y están

aumentando su escala para la manufactura masiva de nanomateriales “al mayoreo” o especializados (de “diseñador”), que irán penetrando todas las industrias, desde la de neumáticos hasta los tacos. Las nuevas formas de carbono a nanoescala tienen en este momento el impulso mayor. Cincuenta y cinco compañías están fabricando nanotubos de carbono y al menos veinte están preparándose para la producción en masa (cientos de toneladas anuales) de fulerenos (también conocidos como *buckyballs* (buckybalones). La industria está lista a usar compuestos a nanoescala tales como el galium-arsénico - un semiconductor hecho de galium y arsénico, similar al silicón pero más veloz, y a diferencia del silicón, deja pasar la luz. Aunque ya se usa ampliamente en la microelectrónica, podría ser peligroso a nanoescala, donde podría abrirse camino hasta las células vivas y órganos.⁴ La Dra. Jennifer West, al estudiar las implicaciones ambientales de los nanomateriales en el Centro para la Nanotecnología Biológica y Ambiental en la Universidad de Rice, (CBEN por sus siglas en inglés), advierte que incluso rastros diminutos de galium arsénico en el cuerpo podrían resultar tóxicos. Sin embargo, tiene una preocupación particular por los nanotubos de carbono, ya que, debido a que el carbono es un elemento tan fundamental en el cuerpo, no disparará las campanas de alarma y podría causar una catástrofe debido a su estructura única (ver abajo). El Dr. Mark Wiesner, profesor de ingeniería civil y ambiental en el CBEN de Rice, también está preocupado por el uso comercial de los nanotubos de carbono. Se pregunta ¿hacia dónde va esto? ¿cómo será su interacción con el ambiente? ¿Es lo mejor que se han inventado luego del pan rebanado... o es asbesto mejorado?.⁵ Tanto Wiesner como West han expresado su preocupación por el hecho de que las compañías están buscando la forma de usar nanotubos de carbono en neumáticos radiales. Los viejos neumáticos usados contaminan por doquier, desde los tiraderos de basura y los rellenos sanitarios

hasta los fondos de los lagos y los mantos freáticos subterráneos.

Estas preocupaciones se hicieron públicas por vez primera cuando el periódico electrónico *Small Times* reportó la discusión de una reunión llamada “Nanotecnología: ¿amiga o enemiga del ambiente?” que tuvo lugar en marzo en la sede principal de la Agencia de Protección Ambiental (EPA por sus siglas en inglés) en Washington DC.⁶ La Dra. Bárbara Karn, quien está a cargo de la investigación sobre nanotecnología en la EPA, se interrogaba sobre el potencial de daño de las nanopartículas para el ambiente y la salud si se muestra que son difíciles de controlar, así que invitó a científicos del CBEN de Rice a Washington para que compartieran sus puntos de vista y experiencias..⁷

¿Nano por siempre? Según el Dr. Wiesner, se han realizado pruebas para medir la acumulación de materiales en hígados de animales de laboratorio que demostraron que las nanopartículas se acumulan dentro de los organismos y que los nanomateriales, incluso los inorgánicos son absorbidos por las células vivas.⁸ En una reunión de evaluación a mediados de marzo, Wiesner informó a los oficiales de la EPA: “Conocemos nanomateriales que han sido absorbidos por las células. Eso detona las alarmas... Si las bacterias

pueden incorporarlos, entonces tenemos un puerto de entrada para que los nanomateriales accedan a la cadena alimentaria.”⁹

El Dr. West explica que si las nanopartículas están presentes en el torrente sanguíneo, las proteínas en la sangre se pegarán a la superficie de las nanopartículas en un intento por “envolverlas”, como la tortilla hace con los frijoles en un taco. Una vez que las proteínas envuelvan a las nanopartículas, podría cambiar la forma y la función de las proteínas. Si bien el que hubiera parcelas de nanopartículas en la corriente sanguínea podría servir para algunas aplicaciones médicas, tales como la distribución de un fármaco en el organismo, los cambios en las proteínas podrían disparar otros efectos no deseados y peligrosos, tales como la coagulación de la sangre.¹⁰ West también considera necesario examinar si las nanopartículas absorbidas por las bacterias refuerzan la capacidad de otros materiales de introducirse y ocasionar daños, lo cual es igualmente alarmante.¹¹ El nanomaterial en sí mismo puede ser benigno, pero de la misma forma que las proteínas se adhieren a los nanomateriales en el torrente sanguíneo, las toxinas, tales como los plaguicidas, podrían adherirse a las nanopartículas en el agua, facilitando su transporte y diseminación.¹²

¿Hacia dónde va esto? ¿cómo será su interacción con el ambiente? ¿Es lo mejor que se han inventado luego del pan rebanado... o es asbesto mejorado?—Dr Mark Wiesner, Universidad de Rice, comentando la liberación de nanotubos de carbono al ambiente.

Tal vez sea la cualidad que hace que las nanopartículas sean tan atractivas a los investigadores que están tratando de desarrollar mejores sistemas de distribución de fármacos en el cuerpo -por ejemplo su capacidad para entrar en el torrente sanguíneo y cruzar las barreras sanguíneo-cerebrales, así como su habilidad para ser incorporadas por células individuales –que resultará ser la misma cualidad que los hace más peligrosos. El potencial negativo que tiene la movilidad de las nanopartículas, incluyendo la posibilidad de que “malas” partículas junten fuerzas con las “buenas” nanopartículas, debe investigarse con la mayor urgencia, ya que las

compañías están compitiendo por comercializar, y así ponernos en contacto íntimo, con nanopartículas artificiales:

- **Nano Monitores:** Investigadores de la empresa Nanosphere (Alachua, Florida) están trabajando en incorporar nanopartículas en medicinas, que pueden ser detectadas posteriormente a través del análisis del aliento, con el fin de monitorear la aceptación del paciente.
- **Nano Bebidas:** Científicos empleados por Kraft Foods están agregando nanopartículas a fluidos esperando crear “bebidas interactivas” que

cambiarán color o sabor a capricho del consumidor.¹³

- El departamento de ciencia de los alimentos de la Universidad Rutgers (New Jersey, Estados Unidos) contrató recientemente a quien considera el primer “profesor de nanotecnología de los alimentos”.¹⁴ En Rutgers, el Profesor Qingrong Huang se enfocará en el desarrollo de dos aplicaciones de nanotecnología a la industria de alimentos: los “nutracéuticos”, alimentos que usarán proteínas para distribuir fármacos en áreas objetivo del cuerpo, y envolturas de comestibles que respondan a los cambios químicos en sus contenidos (como cuando lo que se encuentra en el interior de un paquete comienza a descomponerse).
- **Nano Doctor:** Advectus Life Sciences (Vancouver, Canadá), farmacéutica especializada en tratamientos para el cáncer de cerebro, es una de muchas compañías que están experimentando con sistemas mejorados de distribución de fármacos en el torrente sanguíneo por medio de la nanotecnología. Los científicos de Advectus han podido enviar nanopartículas de una potente droga contra tumores atravesando la barrera sanguíneo-cerebral—que funciona como un portero notablemente fastidioso. Pues bien, las nanopartículas se inyectan en el torrente sanguíneo, donde atraen lipoproteínas (colesterol) que se adhieren a la superficie de las partículas de droga y las “disfrazan” envolviéndolas; una vez logrado eso, solo resta una pequeña travesía hacia el cerebro, donde los receptores de la lipoproteína absorben al colesterol y a la droga contra el tumor que se esconde en él, sin detectarla. Advectus ve su tecnología “nanocurativa” como muy próxima a obtener por la vía rápida la codiciada autorización de la Administración de Alimentos y Drogas de los Estados Unidos.¹⁵

¿Y cuál es el gran problema? Si las nanopartículas incluso las inorgánicas, entran en las células o se acumulan en el hígado ¿cuál es el problema? ¿Y qué si traen algunos socios desagradables con ellas? ¿Qué tanto daño puede hacer a nanoescala una muestra de lo que sea? ¿Aún si se trata de muchas nanomuestras de lo que sea? Precisamente, el gran problema puede residir en la naturaleza única de la escala de esta tecnología. El ímpetu detrás de la nanotecnología como un campo de investigación —la razón por la cual ha atraído 4 mil millones de dólares anuales en investigación en todo el mundo— deriva del hecho de que los materiales actúan de formas diferentes, algunas veces útiles, pero la mayoría de las veces impredecibles, cuando están a nanoescala. Una sustancia que es roja cuando mide un metro puede ser verde cuando mide unos cuantos nanómetros; algo que es suave y dúctil en la macroescala puede ser más fuerte que el acero en la nanoescala. Un solo gramo de material catalizador hecho de partículas de 10 nanómetros de diámetro es aproximadamente 100 veces más reactivo que la misma cantidad del mismo material hecho de partículas de un micrómetro de diámetro. (1000 veces más grande que un nanómetro).¹⁶

Los cambios en el color, la fuerza y la reactividad que pueden observarse a nanoescala se deben precisamente a la reducción en el tamaño de las partículas. El hecho es que no sabemos qué harán en nuestros pulmones o nuestros hígados o en nuestros mantos freáticos cantidades acumuladas de cualquier material artificial, ya que ni siquiera sabemos cómo se comportan las partículas del mismo material, pero más grandes, en nuestros pulmones, hígados y mantos freáticos. Y hasta la fecha, nadie se ha preocupado por averiguarlo.

“Sabemos que los nanomateriales han sido absorbidos por las células. Eso dispara las alarmas... si las bacterias pueden incorporarlos, entonces tenemos un puerto de entrada para que los nanomateriales accedan a la cadena alimentaria.” —Dr. Mark Wiesner, Universidad de Rice.

El futuro es ahora: Mientras que las propiedades de los elementos y los compuestos de tamaño nano aún son objeto de intensas investigaciones con la esperanza de encontrar aplicaciones para las industrias electrónica, biomédica y de los comestibles en un futuro próximo, la industria de la “ciencia de los materiales” ya está produciendo nanomateriales en cantidades masivas. Por ejemplo, Nanophase Inc., establecida a las afueras de Chicago (Illinois, Estados Unidos), vende nueve diferentes compuestos de nanopartículas disponibles en formatos fabricados para diversas aplicaciones: desde nanopartículas de óxido de zinc y dióxido de titanio compradas por los fabricantes de bloqueadores de sol, por su capacidad para bloquear los rayos ultravioleta de la luz, hasta óxido de antimonio a nanoescala (que se usa para coberturas y pinturas) y óxido de hierro y de cerio (usados como catalizadores). Nanophase produjo el año pasado más de 250 toneladas de nanopartículas de óxido de zinc.

Una rosa es una rosa, pero no si la miramos muy de cerca... Con algunas excepciones importantes, (ver en el recuadro la discusión sobre las

nanopartículas de carbono), la mayoría de las nanopartículas que se producen ahora son mini versiones de partículas que ya se produjeron durante mucho tiempo. Mientras que las versiones más grandes han pasado por pruebas y regulaciones, sus diminutos hermanitos no. Por eso es de crucial importancia cuestionarnos si un compuesto, un elemento o un fármaco autorizado son lo mismo como macropartículas que como nanopartículas de la misma sustancia. La nanopartícula y la macropartícula pueden llevar el mismo nombre y tal vez estén compuestas de la misma materia, pero no tendrán la misma apariencia ni actuarán de la misma forma. Si las compañías nanotecnológicas se ven forzadas a defender sus productos, ¿acudirán a los muy conocidos argumentos de sus colegas biotecnológicas para intentar doblegar las barreras regulatorias? Por otro lado, se nos ha dicho que los productos son maravillosamente novedosos y que merecen ser protegidos por patentes monopólicas, y contradictoriamente también se nos dice que no son tan diferentes y no requieren regulaciones especiales.

¿El mismo viejo cuento?

Las agencias reguladoras del gobierno, como la Administración de Alimentos y Drogas de los Estados Unidos (FDA, por sus siglas en inglés) ¿desarrollarán lineamientos para regular la nueva nano industria? El siguiente ejemplo nos alerta de que el deficiente método para vigilar la industria biotecnológica, —fragmentado y de caso por caso— prevalecerá también en la era de la nanotecnología:

Mientras que un panel de la FDA trabajaba para regular nuevos ingredientes bloqueadores de sol que ya están listos para la venta, se discutía si el dióxido de titanio en nanoescala era un nuevo ingrediente o si era el mismo ingrediente que las partículas de dióxido de titanio en una escala mayor, que ya habían sido aprobadas para usarse. Para los que se están iniciando en el tema, el dióxido de titanio en nanoescala ya no puede definirse como un “bloqueador solar opaco” porque, a nanoescala, las partículas de dióxido de titanio son transparentes en vez de opacas. Además, el dióxido de titanio a nanoescala no está incluido en la *US Pharmacopeia* (USP), una colección de más de 3,800 monografías que establecen los estándares para los fármacos. Finalmente se enfatizó que las nanopartículas tienen el potencial de acumularse bajo la piel. Finalmente, el panel de la FDA no consideró que el dióxido de titanio a nanoescala fuera un ingrediente nuevo, sino que era más bien un grado específico del dióxido de titanio que ya estaba aprobado. El panel omitió la opacidad como un criterio para bloqueadores solares OTC y estableció: “la agencia no conoce hasta la fecha ninguna evidencia que demuestre una preocupación con respecto a la seguridad en el uso del dióxido de titanio [a nanoescala] en los productos bloqueadores del sol.”¹⁷

¿Carbono de vanguardia? nanotubos y fulerenos

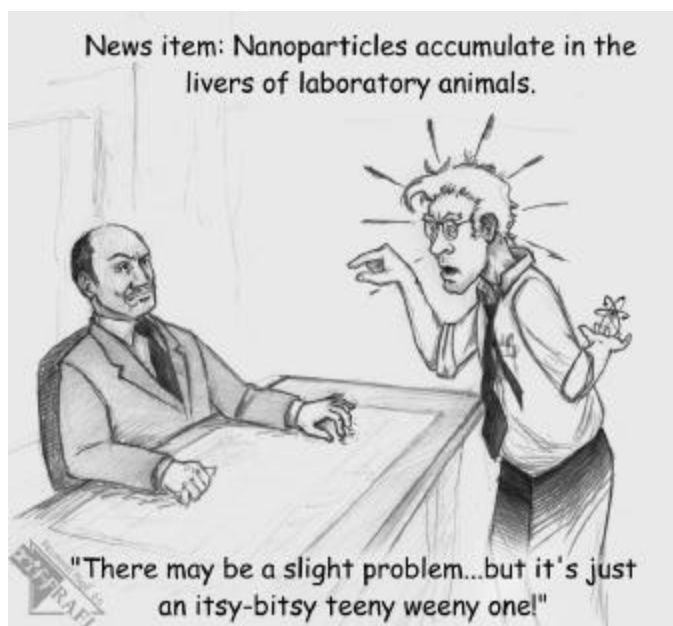
Además de la producción masiva de compuestos convencionales que exhiben diferentes propiedades debido a la talla nanométrica de sus partículas, los nanomateriales que se están produciendo ahora no existían antes en nuestro

ambiente. Dos formas de carbono puro que parecen ser los “niño prodigio” del mundo de la nanotecnología, se están fabricando masivamente—una forma tiene apariencia de balón de futbol y se llama fullereno, y la otra, denominada nanotubo, es larga y cilíndrica. En particular los nanotubos

prometen aplicaciones nuevas y útiles para cada sector industrial, incluyendo las biotecnologías, las ciencias de los materiales y la electrónica. Los nanotubos son 100 veces más fuertes que el acero y aproximadamente una quinta parte más ligeros.

La fábrica francesa de raquetas de tenis Babolat ya incorpora nanotubos en sus raquetas llamadas "Nanotubos VS", pero también podrían usarse para fortalecer y al mismo tiempo aligerar todo tipo de materiales, incluyendo huesos sintéticos y articulaciones artificiales. Debido a que los nanotubos son buenos conductores de electricidad,

Boletín de prensa: Nanopartículas se acumulan en los hígados de los animales de laboratorio



"Tal vez tengamos un problema... pero es solo un problema muy, pero muy, pero muy pequeño!"

Por su parte, el Carbon Nanotech Research Institute tiene como objetivo lograr una producción anual de 120 toneladas.²² Esos son muchos nanotubos si consideramos que un solo nanotubo es tan pequeño que es invisible y que las compañías en los Estados Unidos (por ejemplo Carbolex, Carbon Nanotechnologies, Inc.) están recibiendo pedidos de cantidades que pesan menos de cien gramos –a razón de 100 gramos por pedido, tomaría 9,070 clientes para completar una tonelada de nanotubos (lo que significaría ventas aproximadas de USD \$72,574,800 según el

están alentando expectativas de realizar diagnósticos más rápidos y precisos en el campo biomédico y de encontrar métodos de distribución más eficiente de los fármacos en el interior del organismo.¹⁸ Un químico de la Universidad de Stanford está desarrollando un sensor de glucosa que usa un solo nanotubo de carbono y que podría implantarse en los pacientes con diabetes.¹⁹

Debido a sus propiedades de semiconductor, los nanotubos pueden ser los bloques de construcción para fabricar computadoras más pequeñas y más rápidas, ya que los transistores de nanotubos parecen desempeñarse mejor que los transistores de silicón.²⁰

Estas formas de carbono puro fueron descubiertas más que inventadas –los fullerenos se descubrieron en 1985; los nanotubos en 1991— y hace muy poco tiempo que pueden fabricarse a voluntad. Ninguna de las dos formas existe de forma natural en nuestro ambiente.²¹ Sería difícil estimar la cantidad de nanotubos y fullerenos que se ha producido hasta la fecha en los laboratorios. Actualmente los están fabricando en todo el mundo, al tiempo que los científicos experimentan continuamente con diversos métodos de producción (que patentan) para poder fabricar grandes cantidades, más rápido y a menor costo. Varias compañías en los Estados Unidos y Europa producen nanotubos y dos compañías en Japón se crearon recientemente para producirlos en cantidades masivas: Frontier Carbon Corporation (una empresa conjunta con Mitsubishi Corp. y Mitsubishi Chemical Corp.), planea producir 40 toneladas de nanotubos el próximo año.

precio que da Carbolex por gramo, que son 80 dólares).

Nuevamente, ¿cuál es el problema?

El gran problema en general es la incertidumbre, pero los científicos ven dos problemas potenciales específicos para estas formas de carbono –uno está relacionado con su forma y otro aparentemente tiene que ver con su tamaño. Resulta que la comparación que hace el Dr. Wiesner de los nanotubos de carbono con los asbestos mejorados no es meramente retórica, sino que subraya la

necesidad de investigar los peligros de un material antes de que lo encontremos por todas partes. Los nanotubos de carbono parecen fibra de asbesto por su forma: son largos y parecen agujas. Según el Dr. Wiesner, los nanotubos de carbono no representan una gran amenaza porque (en nuestro ambiente) tienden a agruparse en vez de existir como fibras sueltas que pueden causar serios problemas respiratorios como los causan las fibras de asbesto. Sin embargo, hay intensas investigaciones para averiguar cómo solubilizar los nanotubos, es decir, desconglomerarlos para que sea más fácil usarlos como fibras independientes.²³ El año pasado se otorgaron a la Universidad de Kentucky (Estados Unidos) dos patentes sobre métodos para solubilizar los nanotubos en soluciones orgánicas.²⁴ Se han hecho muy pocos estudios para conocer qué podría pasar si las fibras de nanotubos fueran respiradas o si se usaran en la distribución de fármacos en el organismo o como biosensores para el diagnóstico de enfermedades.²⁵ La inmunóloga Silvana Fiorito descubrió en una investigación preliminar que cuando una partícula de carbón puro de un micrómetro de ancho (en forma de grafito) se introduce en una célula, la célula responde produciendo óxido nítrico, lo cual indica que el sistema inmune está trabajando y el cuerpo está peleando contra una extraña sustancia invasora.²⁶ Pero cuando una nanopartícula de la misma sustancia –carbono puro— se agrega a las células, ya sea en la forma de nanotubos o fullerenos, las células no producen una respuesta inmune –le dan la bienvenida al extraño de carbono como si fuera un familiar que no han visto por mucho tiempo. La habilidad para burlar el sistema inmune puede ser buena para la distribución de fármacos, pero ¿qué pasa cuando llegan nanopartículas no deseadas? En otras palabras, una vez que los nanotecnólogos comprendieron cómo distraer al vigía de la entrada ¿cómo podemos estar seguros de que los ladrones permanecerán afuera?

Nano-Abogados: Imaginar una nueva revolución industrial, cuyo valor en el mercado sería de 1 billón de dólares (un millón de millones) para el 2015 ha excitado a los gobiernos, a los científicos, a la industria y a los inversores de capital de

riesgo. Ninguno de los científicos que actualmente trabajan con nanomateriales, incluso aquellos que cuestionan su comportamiento en el ambiente, podrían ser acusados de ser tecnofóbicos o alarmistas cuando se trata del avance tecnológico. Como parte de su Programa Ciencia para lograr Resultados (*Science to Achieve Results*, “STAR”), la EPA apoya la investigación en nanotecnologías que sirvan para aplicaciones benéficas para el ambiente, pero no más del diez por ciento de sus fondos de investigación podrán destinarse a investigar los potenciales impactos negativos de los nanomateriales. El Centro para la Nanotecnología Biológica y Ambiental en la Universidad de Rice (CBEN) intenta “conducir la nanociencia para que sea una disciplina con la relevancia, triunfos y vitalidad de la ciencia moderna de los polímeros”, y estamos hablando de uno de los seis mayores centros de la ciencia de nanoescala en los Estados Unidos, financiado con 10.5 millones de dólares por la Fundación Nacional de Ciencia.²⁷ La Universidad de Rice es el hogar de Richard Smalley, quien obtuvo el Premio Nobel de química por haber descubierto los fullerenos en 1985 y quien es miembro del equipo de investigadores del CBEN. Silvana Fiorito, la inmunóloga que está investigando cómo las células responden a los carbonos de nanoescala, trabaja en el laboratorio de Patrick Bernier, quien es co fundador de Nanoledge, una productora de nanotubos en Montpellier, Francia. El hecho de que ningún científico que trabaja en el campo de la nanotecnología sea capaz de asegurar con certeza un futuro feliz para los nanomateriales debe llamar nuestra atención sobre la urgente necesidad de una vigilancia regulatoria.

La gran mayoría de los investigadores en nanotecnología están unidos en su convicción de que la nanotecnología actual, aplicada a la producción de materiales útiles, es benéfica y benigna. Claes-Göran Granqvist, profesor de física de Estados Sólidos en la Universidad de Uppsala, Suecia, piensa que los nanomateriales no deben presentarse como algo radicalmente nuevo o extraño. Enfatiza que los nanomateriales en verdad pueden limpiar y destruir contaminantes y advierte contra las conclusiones alarmistas. “Pienso que los peligros potenciales de las

nanotecnologías deben estudiarse y que eso se debe hacer ahora”, agrega.²⁸

Nos han dicho que si la nanotecnología tiene un lado desventajoso, éste no se manifestará sino hasta un futuro muy lejano que tal vez nunca llegue. Algunos piensan que las nanomáquinas autoreplicantes (robots a nanoescala, o nanorobots) pueden existir un día, y con solo un poco de imaginación, es fácil visualizar un escenario apocalíptico: ¿qué pasaría si los nanorobots comienzan a replicarse —a sí mismos o a cualquier otra cosa— y no pudieran ser detenidos? Aunque hoy en día no existen máquinas autorreplicantes de ningún tamaño, su existencia potencial continúa debatiéndose “de manera segura”: en el plano puramente teórico.²⁹ (Los robots de micro tamaño sí existen, y son capaces de ejecutar órdenes para construcciones a nanoescala controlados por una computadora central. Ver el comunicado de prensa del Grupo ETC, “Nanotecnología: un pequeño gran paso”, 6 de marzo del 2002, www.etcgroup.org). Irónicamente, mientras que pocos científicos con visión de largo plazo se están enfocando en los peligros potenciales de las aplicaciones de la nanotecnología en el futuro, ninguno ha dado seguimiento a los potenciales impactos negativos de los productos actuales de la nanotecnología.³⁰

¿Dónde está el diablo? Debatir acerca de la nanotecnología y nuestro posible futuro apocalíptico no sirve de mucho, si no nos preguntamos y respondemos ahora las cuestiones más básicas acerca del impacto actual de los

nanomateriales en el ambiente. Como es el caso con la biotecnología, los productos de una nueva tecnología has salido apresuradamente al mercado sin un escrutinio apropiado y con muy poca discusión pública. Las provocativas interrogantes que lanzan un puñado de investigadores que trabajan en el campo, subrayan la necesidad que tienen los gobiernos y la sociedad civil para ajustar cuentas con esta poderosa nueva tecnología. De una cosa podemos estar seguros: el tamaño sí importa.

Se están acumulando presiones sobre los Jefes de Estado que se reunirán en la próxima Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sustentable en Johannesburgo (26 de agosto al 4 de septiembre del 2002), para que abracen la nanotecnología como la más nueva y la más verde de las herramientas tecnológicas para un futuro sustentable. Dadas las preocupaciones en torno a la contaminación de nanopartículas en organismos vivos y las preguntas no respondidas acerca de los peligros potenciales de las nuevas formas del carbono, la Cumbre de Johannesburgo debería convocar a una moratoria inmediata sobre la producción comercial de nuevos nanomateriales. Igualmente importante es la necesidad de promover un proceso global para la evaluación de las implicaciones socioeconómicas, para la salud y el ambiente de las nuevas tecnologías —un Convenio Internacional para la Evaluación de Nuevas Tecnologías- que sea legalmente vinculante.

Una muestra de quienes producen con nanotecnología en el mundo

| Compañía | Qué está produciendo | Ubicación |
|--|--|--|
| Hyperion Catalysis | <i>Nanotubos de carbono</i> usados como aditivos para la conducción de electricidad en plásticos para autopartes y unidades de disco | Cambridge, Massachusetts, Estados Unidos |
| NanoCarbLab | <i>Nanotubos de carbono</i> | Moscú, Rusia |
| Nanoledge SA | <i>Nanotubos de carbono</i> para usarse en materiales compuestos | Clapiers, Francia |
| Altair Technologies | <i>Nanopartículas</i> se especializa en dióxido de titanio usado en barnices, coberturas y aerosoles térmicos como catalizadores | Reno, Nevada, Estados Unidos |
| Nanophase, Inc. | <i>Nanopartículas</i> óxido de zinc y dióxido de titanio (usado en cosméticos y bloqueadores solares), óxido de cerio y óxido de hierro (usados como catalizadores), óxido de aluminio (usado en cerámica) | Romeoville, Illinois, Estados Unidos |
| Frontier Carbon Corporation | <i>Fulerenos</i> producción a gran escala | Tokio, Japón |
| Molecular Nanosystems | <i>Nanotubos de carbono</i> también está investigando, desarrollando y manufacturando productos basados en nanotubos | Palo alto, California, Estados Unidos |
| Southern Clay Products | <i>Nanocompuestos plásticos</i> una nanopartícula de barro formada naturalmente es agregada a los plásticos para hacerlos más ligeros, más fuertes, con mayor resistencia al calor; principalmente se usan en las envolturas y los plásticos automotrices | Gonzales, Texas, Estados Unidos |
| Carbon Nanotechnologies | <i>Nanotubos de carbono</i> usa la tecnología desarrollada en la Universidad de Rice por el premio Nobel Richard Smalley | Houston, Texas, Estados Unidos |
| Yorkpoint New Energy Science and Technology Development Co. | <i>Nanotubos de carbono</i> usados en células combustibles | Guangzhou, Provincia de Guangdong, China |

NOTAS

¹ M. Roco y W. S. Bainbridge, editores, "Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology", National Science Foundation, marzo del 2001, pp. 3-4, 74-75, disponible en internet: <http://www.wtec.org/loyola/nano/societalimpact/nanosi.pdf>

² Vicky Colvin, citada por Brown, D., "Nano Litterbugs"? Experts see potential Pollution Problem", en *Small times*, 15 de marzo del 2002, URL del artículo: http://www.smalltimes.com/document_display.cfm?document_id_3266

³ CMP Científica, "Nanotechnology Opportunity Report", Marzo del 2002. el reporte de CMP Científica se enfoca solo en la nueva tecnología que incluye material más pequeño de 100nm, estima que las ventas anuales derivadas de la nanotecnología son de \$ 30 millones de dólares. Debido al costo prohibitivo del reporte, (1995 dólares) las referencias de ETC provienen de un resumen del mismo: Eric Pfeiffer, "Nanotech Reality Check: New Report Tries to Cut Hype, Keep Numbers Real", en *Small Times*, 11 de marzo del 2002; URL del artículo: http://www.smalltimes.com/document_display.cfm?document_id=323. La NanoBusiness Alliance, un nuevo grupo de comercio recientemente formado en los Estados Unidos, estima que las ganancias anuales derivadas de la nanotecnología son de 45,500 millones de dólares. La enorme discrepancia se debe a que la NanoBusiness Alliance incluye algunos productos que no son en realidad a nanoescala, -una definición muy estricta pero ampliamente aceptada de la nanotecnología limita el tamaño de lo que está siendo manipulado a menos de 100 nanómetros. La estimación de la NanoBusiness Alliance incluye los MEMS –sistemas microelectromecánicos- los cuales entran en la escala de los micrómetros. Las cifras de CMP Científica excluye algunos productos que sí entran en el rango de la nanoescala pero que no constituyen nuevas tecnologías (por ejemplo el carbono negro, las partículas de carbón a nanoescala) –que químicamente son los mismo que hollín- que se usaron en la manufactura de llantas durante casi un siglo).

⁴ Comunicación personal telefónica con Dr. Jennifer West en la Universidad de Rice, 12 de julio del 2002.

⁵ Dr. Mark Wiesner, citado en Brown, D., ¿"Nano Litterbugs? Experts See Potential Pollution Problem."

-
- ⁶ Ibid, y “US Regulators Want to Know whether Nanotech Can Pollute”, en *Small Times*, 8 de marzo del 2002. ULR: http://www.smalltimes.com/document_display.cfm?document_id=3231.
- ⁷ Los visitantes de Rice sostuvieron su propia conferencia algunos meses antes: “La nanotecnología y el ambiente: un examen de los beneficios y los peligros potenciales de una tecnología emergente.”
- ⁸ Brown, D., “Nano Litterbugs? Experts See Potential Pollution Problem.”
- ⁹ Ibid.
- ¹⁰ Comunicación personal con el Dr. West vía telefónica, 12 de julio del 2002; ver también Gorman, J., “Taming High-Tech Particles: Cautious steps into the nanotech future”, en *Science News*, semana del 30 de marzo del 2002, Vol. 161, No. 13; disponible en internet: <http://www.sciencenews.org/20020330/bob8ref.asp>
- ¹¹ Gorman, J., “Taming High-Tech Particles: cautious steps into the nanotech future”
- ¹² Comunicación personal con el Dr. West vía telefónica, 12 de julio del 2002.
- ¹³ Para tener información sobre Nanosphere, www.nanosphere.com; para saber sobre las bebidas interactivas de Kraft, ver Charles Choi, “Liquid coated fluids for smart drugs, food”, en *UPI Science News*, 28 de febrero del 2002, disponible en www.upi.com.
- ¹⁴ Elizabeth Gardner, “Brainy food: Academia, industry sink their teeth into edible nano”, en *Small Timer*, 21 de junio del 2002, URL: http://www.smalltimes.com/document_display.cfm?document_id=3989
- ¹⁵ <http://www.advectuslifesciences.com>
- ¹⁶ claudia Hume, “The Outer Limits of Miniaturization”, en *Chemical Specialties*, septiembre del 2000.
- ¹⁷ Ver “Sunscreen Drug Products For Over-The-Counter Human Use; Final Monograph.” Disponivble en internet, URL: <http://www.cfsan.fda.gov/~Ird/fr990521.html>. Los documetros de la FDA se refieren al dióxido de titanio a nanoescala como “dióxido de titanio micronizado.” Según Joseph Lipnicki, del Centro para la Evaluación de Drogas e Investigación de la FDA, no hay una definición oficial de “micronizado”, pero las partículas son de un tamaño relativamente homogéneo menor a 250nm. Comunicación personal via telefónica con Mr. Lipnicki, 16 de julio del 2002. El grado cosmético de las partículas de dióxido de titanio que ofrecen Altair Nanomaterials, Inc. y Nanophase, Inc., tienen un tamaño promedio que va de los 25 a los 51 nanómetros.
- ¹⁸ Alexandra Stikeman, “Nanobiotech Makes the Diagnosis”, en *Technology Review*, mayo del 2002, pp. 60-66.
- ¹⁹ *Ibid*, p. 63.
- ²⁰ D. Rotman, “The nanotube computer”, en *Technology Review*, marzo del 2002, pp. 36-45.
- ²¹ Según el Dr. Richard Superfine, físicos de la Universidad de North Carolina en Chapel Hill (Estados Unidos), los fulerenos se han encontrado en asteroides y en general se piensa que es resultado de una historia de intenso calor. Él no sabe que los nanotubos de carbono se encuentren naturalmente. Comunicación personal con el Dr. Superfine, 2 de julio del 2002.
- ²² Waga, “Japanese Companies Getting Ready to Churn Out Nanotubes by the Ton”, en *Small Times*, 13 de marzo del 2002; URL: http://www.smalltimes.com/document_display.cfm?document_id=3258.
- ²³ Comunicación personal con el Dr. Mark Wiesner, 18 de junio del 2002.
- ²⁴ Patente número US 6,368,569, otorgada el 9 de abril del 2002 y la patente número US 6,331,262, otorgada el 18 de diciembre del 2001.
- ²⁵ Dos investigadores de la Universidad de Polonia, en Varsovia, concluyeron que los nanotubos de carbono no presentan una amenaza potencial a la salud humana como los asbestos, después de someter a conejillos de Indias a los nanotubos de carbono y examinar sus pulmones cuatro semanas más tarde. Su investigación está publicada en *Fullerene Nanotubes and Carbon Nanostructures*, Vol. 9 (2), pp. 251-254.
- ²⁶ Gorman, J., “Taming High-Tech Particles: cautious steps into the nanotech future.”
- ²⁷ http://cnst.rice.edu/cben/Center_Vision.shtml.
- ²⁸ Comunicación personal con el profesor Granqvist, 18 de julio del 2002.
- ²⁹ Ver, por ejemplo, *Scientific American*, septiembre del 2001.
- ³⁰ Ver, por ejemplo, la página web del Foresight Intitute, www.foresight.org

El Grupo de Acción sobre Erosión, Tecnología y Concentración, Grupo ETC, se dedica a la conservación y la promoción de la diversidad cultural y ecológica y los derechos humanos. Apoya el desarrollo de tecnologías socialmente responsables útiles para todos, particularmente para los desposeídos y marginados. Monitoreamos también la gobernancia en la comunidad internacional, la apropiación y control de las tecnologías, y la consolidación del poder corporativo.
<http://www.etcgroup.org>