

LA NANOTECNOLOGÍA Y SUS RIESGOS: EL NACIMIENTO DE LA NANOTOXICOLOGÍA

Horacio Reyes, Hugo Nájera, Arturo Rojo-Domínguez

La nanotecnología podría llegar a significar la revolución científico-tecnológica más importante que haya conocido la humanidad, más trascendente aún que el desarrollo del internet. Gracias a ella será posible aumentar la velocidad de los procesadores de computadoras a límites inimaginables, eliminar contaminantes del agua, la tierra o el aire, detectar y destruir más rápidamente y selectivamente las células cancerosas o crear materiales inteligentes, sólo por mencionar algunas de sus aplicaciones más promisorias. Esto no es sólo ciencia ficción, de hecho en la actualidad ya existen en el mercado productos que aprovechan las propiedades especiales que poseen los materiales al estar conformados por nanopartículas, por ejemplo, recubrimientos de nanopartículas de carbono hacen más resistentes a las raquetas, una película de revestimiento de nanopartículas logra que los lentes de sol sean completamente antirreflejantes, una suspensión de nanopartículas ha demostrado ser uno de los desinfectantes más poderosos que existen. Estas tres aplicaciones “reales” de la nanotecnología son sólo una muestra de lo que parece esperarnos en un muy prometedor y cercano futuro.¹

Sin embargo, para que verdaderamente la nanotecnología nos brinde un mejor nivel de vida es indispensable entender que no sólo tiene grandes beneficios, sino que, por el contrario trae consigo una cantidad inmensa de problemas que deben ser atendidos, así como riesgos que deben ser prevenidos antes de que la “explosión comience” y sea muy tarde. Como tal vez el lector pudo haber notado en el párrafo anterior, muchas de las aplicaciones parecen basarse en nanopartículas, que de manera simple pueden ser definidas como partículas que miden de 1 a 100 nm. Básicamente los motivos de preocupación son dos: la peligrosidad de las nanopartículas por sí mismas y el riesgo de contaminación. El primero se refiere a los efectos biológicos y químicos de la gran exposición a las nanopartículas que tendrá el ser humano en un futuro muy cercano, mientras que el segundo tiene que ver con los escapes de éstas al medio ambiente, así como con su circulación y concentración, que pueden representar un peligro para los organismos o los ecosistemas. De tal manera que en una visión pesimista las nanopartículas podrían contaminar más o ser más peligrosas que los compuestos actuales.

Es importante hacer notar que aunque pueda parecer muy novedosa esta rama de la ciencia y la tecnología, en realidad, en la naturaleza desde siempre han existido materiales en escala nanométrica; por ejemplo, en la combustión de carbón y madera los residuos contienen una gran cantidad de nanopartículas de carbono, mientras que en la niebla las gotas tienen escalas nanométricas. Sin embargo, los nuevos materiales creados por el hombre deben ser evaluados de manera intensiva y exhaustiva para asegurar su inocuidad, o al menos estar preparados para saber qué hacer con estos en caso de que resulten tóxicos.

Una de las mayores preocupaciones acerca de la toxicología de las nanopartículas proviene del hecho que muchas de ellas poseen propiedades redox o son fotoactivas. Por ejemplo, las nanopartículas de dióxido de titanio presentes en una gran cantidad de bloqueadores solares son fotocatalíticas, por lo que la exposición al sol genera radicales libres que podrían degradar a los componentes del producto o bien atacar a las biomoléculas del usuario, sin embargo, aunque los estudios no muestran que en realidad exista algún riesgo tampoco los descarta completamente.² Algunas nanopartículas pueden atravesar fácilmente la membrana celular y unirse de manera muy selectiva a las mitocondrias, pudiendo desde el punto de vista médico servir como liberadores muy eficientes de medicamentos,³ sin embargo, si se esparcieran al ambiente en su forma activa podrían atacar indiscriminadamente a células de personas sanas. Uno de los pocos estudios relevantes del efecto de nanopartículas de carbono en ratones demostró que éstas inducen granulomas dependientes de la concentración y, en algunos casos, inflamación intersticial en los animales.⁴ En una investigación realizada recientemente se demostró que los Fullerenos C₆₀, uno de los nanomateriales con mayor potencial, inducen estrés oxidativo en peces.⁵ Se ha encontrado que las nanopartículas poseen cualidades muy parecidas a las de los asbestos, los cuales se dejaron de usar por ser altamente cancerígenos.⁶

El conocimiento de la toxicología tradicional sobre la evaluación de exposición, el transporte a través del cuerpo y el destino final de tóxicos convencionales, no es aplicable a las nanopartículas, debido a que su tamaño les provee de propiedades únicas, por eso es indispensable el uso de métodos alternativos que tomen en cuenta estas propiedades. En última instancia, lo anterior nos podría llevar al desarrollo de modelos estructura-actividad para partículas en esta escala de tamaño, lo cual implica el

nacimiento de una nueva disciplina: la nanotoxicología.⁷ Basados en esta nueva disciplina, un grupo de investigadores convocados por el gobierno de EUA, ha desarrollado una lista de la información crítica necesaria para una adecuada sistematización del conocimiento toxicológico de las nanopartículas, como a continuación se describe:

a) Si se desea que las pruebas toxicológicas sean reproducibles y comparables, es necesaria una extensiva caracterización fisicoquímica, esto incluye, tamaño de partícula y su distribución, forma, área superficial, actividad catalítica y potencial redox, entre otras.

b) Aunque muchas nanopartículas no sean tóxicas por sí mismas, se ha demostrado que tienen una gran afinidad por compuestos tóxicos, por lo que podrían servir por un lado de mecanismos de limpieza, pero por otro de acarreadores para éstos, por lo que es necesaria información a este respecto.

c) Por su tamaño muchas de estas nanopartículas no pueden ser detectadas por los macrófagos, que son un tipo de células del sistema inmunológico, por lo que pueden entrar al sistema circulatorio, teniendo una elevada capacidad tóxica, así que debe obtenerse información relevante que relacione la forma y tamaño de las nanopartículas con su paso a través de las células.

d) Las nanopartículas son capaces de aglomerarse, sobre todo a concentraciones altas, esto provoca un cambio importante en sus propiedades fisicoquímicas, y por lo tanto toxicológicas. Saber si los aglomerados disminuyen o potencian la toxicidad es una pregunta que requiere responderse urgentemente.

e) Muchas de las propiedades de las nanopartículas se deben a que por su reducido tamaño dejan expuesta una gran área superficial al ambiente, esta área no es necesariamente homogénea químicamente, en consecuencia su reactividad es diferente dependiendo del lugar específico de la nanopartícula, por lo que es necesario comprender el tipo de interacciones dependientes de la superficie.

f) Por sus propiedades únicas, las nanopartículas interactúan con las biomoléculas también de forma única, esto incluye al ADN, colágeno y estructuras de membrana, etc. Las características y número de interacciones de este tipo deben de ser perfectamente

comprendidas si se pretende avanzar en la comprensión de la toxicología a escala nanométrica.

La generación del conocimiento anteriormente descrito requiere además de un trabajo arduo, la aplicación de estrategias adecuadas, por ejemplo: promover una colaboración y comunicación inter y transdisciplinaria, estudiar exhaustivamente un conjunto de “nanopartículas representativas” y optimizar un conjunto de pruebas toxicológicas adecuadas sobre éste. Satisfacer estos requerimientos permitiría un rápido avance en la comprensión de la toxicología del mundo nanométrico. Idealmente, la nanotoxicología deberá generar principios que permitan asociar las propiedades de un material nanométrico con su toxicidad.

En conclusión, los científicos dedicados a la nanotecnología han sido capaces de identificar el riesgo potencial que representan las nanopartículas y han tomado acciones contundentes para evitar daños o paliarlos de manera adecuada. Sin embargo, este camino apenas comienza, pero al menos se ha trazado la ruta adecuada. Es importante que en países como México en donde apenas comenzamos a transitar la ruta “nano” tomemos en cuenta este tipo de iniciativas, para no ser sorprendidos y al final tener que remediar grandes problemas que hubieran podido ser prevenidos antes de gestarse, como nos ha sucedido en el pasado.

Referencias:

- 1 Ética y política de la nanotecnología, UNESCO, 2007. París, Francia.
- 2 Vicki L. Colvin. The potential environmental impact of engineered nanomaterials, *Nature Biotechnology*, 2003, 21, 1166.
- 3 Sarah Foley, *et al.* Cellular localization of a water-soluble fullerene derivative. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 2002, 294, 116.
- 4 Anna A. Shvedova *et al.* Unusual Inflammatory and Fibrogenic Pulmonary Responses to Single-walled Carbon Nanotubes in Mice, [*American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*](#), 2005, 289, 698.
- 5 Ernie Hood. Fullerenes and fish brains: nanomaterials cause oxidative stress. *Environmental Health Perspectives*. 2004, 112, 568.
- 6 Novel Materials in the Environment: The case of nanotechnology Royal Commission on Environmental Pollution, 2008. UK. Puede ser consultado en: <http://www.rcep.org.uk/novelmaterials.htm>
- 7 G. Oberdörster, *et al.* Nanotoxicology: an emerging discipline evolving from studies of ultrafine particles. [*Environmental Health Perspectives*](#). 2005, 113,823
- 8 John M. Balbus, *et al.* Meeting Report: Hazard Assessment for Nanoparticle. Report

from an Interdisciplinary Workshop. *Environmental Health Perspectives*. 2007, 115, 1654

Horacio Reyes, Hugo Nájera, Arturo Rojo-Domínguez

Departamento de Ciencias Naturales. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Cuajimalpa, México.