

PONIENDO EN CLARO

Un "pequeño" detalle: los riesgos de las nanotecnologías

Miguel García Guerrero¹, Guillermo Foladori²

Red Latinoamericana de Nanotecnología y Sociedad, www.relans.org

1.- miguel@grupoquark.com; 2.- gfoladori@gmail.com

Las nanotecnologías se perfilan como una de las más importantes revoluciones científicas del nuevo milenio: ya son una realidad en la producción de textiles, cosméticos y electrónicos; además, ofrecen la promesa de beneficios importantes para la salud humana, la producción de energía y el avance de la electrónica. Pero no todo es color de rosa, como ocurre con cualquier nueva tecnología, las nanotecnologías implican riesgos que deben ser tomados en cuenta para sacarles un máximo provecho sin afectar elementos como la salud humana, el medio ambiente o el empleo. La Red Latinoamericana de Nanotecnología y Sociedad (RELANS) realizó un trabajo para identificar estudios científicos que refieren riesgos asociados a las nanotecnologías y establecer la importancia de la regulación de su producción, distribución comercial y manejo de residuos.

Palabras clave: nanociencias y nanotecnologías, riesgos de nuevas tecnologías, principio de precaución, revoluciones tecnológicas.

El inicio de un nuevo campo del conocimiento siempre es un hecho emocionante, especialmente para sus protagonistas. Imagina la oportunidad de ser un pionero científico, abrir brecha para generaciones futuras y -¿por qué no?- hasta llevarte un Premio Nobel en el proceso. Suena como "La Oportunidad" de la vida, ¿verdad? Probablemente es por esto que con frecuencia los investigadores, en su entusiasmo, se centran en las bondades de sus hallazgos y no ponen mucha atención a los riesgos. Quizá esto también tiene que ver con el hecho de que buscan conseguir recursos para mantener sus investigaciones y los descubrimientos peligrosos no siempre emocionan a los posibles patrocinadores.

Así ocurrió hace poco más de un siglo con el estudio y aprovechamiento de la radiactividad natural. Si bien en un inicio el descubrimiento de Henri Becquerel no recibió mucha notoriedad, cuando Madame y Pierre Curie empezaron a obtener resultados más importantes muchas personas se animaron bastante con el asunto.

Y no era para menos: había materiales radiactivos -como el Uranio, el Polonio y el Radio- que sin ayuda de ningún agente externo estaban liberando

energía; emitían rayos X, rayos gamma, así como partículas a grandes velocidades -electrones y núcleos de helio. Rápidamente se encontraron aplicaciones como el uso de los rayos X para producir imágenes del interior del cuerpo de las personas, una verdadera revolución para la medicina.

Esto generó un entusiasmo que fue más allá de la comunidad científica. Muchas empresas empezaron a incluir elementos radiactivos en productos como pastas de dientes, tónicos "medicinales", cremas faciales, manecillas de reloj, supositorios y hasta vigorizadores sexuales. Las supuestas virtudes de la radiactividad incluso encontraron un territorio fértil en la fantasía del mundo de los héroes de historieta, recordemos que el Hombre Araña obtuvo sus poderes luego de ser picado por una araña radiactiva.

Desafortunadamente, todo esto se lanzó al mercado sin tomar en cuenta los riesgos a los que los productos radiactivos podían exponer a sus usuarios y a las mismas personas que los fabricaban. Existían antecedentes al respecto pero pocas personas los conocían: a inicios del siglo XX un equipo alemán dio a conocer un informe sobre los efectos nocivos de las emisiones radiactivas en el cuerpo humano. El daño podía ir desde quemaduras, malestar general, náuseas y hasta, con mayores exposiciones, cáncer.

Los resultados no fueron tomados muy en serio ni fueron divulgados de forma adecuada, de modo que los laboratorios y las fábricas mantuvieron sus labores sin tomar las precauciones necesarias. No se trataba de dejar de lado este importante hallazgo científico, la clave era dar a conocer -a todas las personas involucradas- los peligros asociados a los materiales radiactivos y tomar las medidas necesarias para minimizar los riesgos al aprovecharlos. Para el caso específico de la radiactividad, después de varias décadas de problemas se consiguió corregir el error; existen muchas regulaciones para proteger a los individuos expuestos, pero para llegar a esta situación miles de personas -entre investigadores, obreros y consumidores- fueron víctimas de la radiación.

Sin embargo, aún cuando se considera que un riesgo ya está controlado surgen nuevos conocimientos que obligan a modificar los criterios de protección. Nuevas regulaciones y procedimientos de seguridad, aplicados en la década de 1990, redujeron 4 veces el porcentaje de riesgo de cáncer derivado de radiaciones. Ahora bien, con el tiempo también surgen presiones para aumentar el uso de aparatos que implican riesgo: actualmente existen muchos aeropuertos que escanean el cuerpo de los pasajeros con máquinas de rayos X de baja intensidad (250 dispositivos, tan sólo en Estados Unidos), aún sabiendo que el efecto de las radiaciones se acumula en el organismo.

No debemos olvidar que, como dice el Hombre Araña, todo gran poder implica grandes responsabilidades (de hecho la frase original, en su esencia, viene del filósofo francés Voltaire). Y, en una sociedad dominada por los avances tecno-científicos, se debe tener presente un hecho ineludible: cualquier tecnología nueva trae consigo riesgos que deben ser tomados en cuenta antes de introducirla al mercado. Debe ponerse atención y cuidado a los impactos negativos que el nuevo desarrollo podría implicar para las personas involucradas en las actividades de investigación, innovación, manufactura, transporte, consumo y disposición final de los residuos.

En la última década hemos atestiguado el enorme crecimiento de las nanociencias y nanotecnologías, un conjunto de sistemas tecnocientíficos que se perfilan para tener un gran impacto en el mundo del siglo XXI. Hay quienes la proyectan como una nueva revolución industrial con aplicaciones en un sin número de actividades humanas. Pero no se trata sólo de un potencial futuro, de lo que podría venir, en realidad ya está presente en el mercado a través de una gran variedad de productos que incluyen alimentos, cosméticos, electrodomésticos, equipos de cómputo, teléfonos, medicinas, textiles, cerámicas y materiales de construcción, entre otros.

Aunque los productos con componentes nano no representan un peligro tan grave como el de los materiales radiactivos en su momento, los riesgos existen. Es una realidad a la que, para bien o para mal, ya estamos expuestos y en muchos casos sin darnos cuenta siquiera. Y es que el entusiasmo ante estos nuevos desarrollos ha sido tan grande por parte de investigadores, gobiernos y empresas que ha faltado más cuidado a la hora de lanzar al mercado los productos de las nanociencias y las nanotecnologías.

Debemos aclarar que se habla de estos desarrollos en plural, porque se trata de sistemas tecnocientíficos muy diversos, con aportes y avances en varias disciplinas: física, química, biología, ciencia de materiales, computación, medicina, etc. Asociar estos aportes tan variados a la misma tecnología sería como incluir en la misma categoría a una jeringa, un lápiz labial y un apuntador láser. Para las nanotecnologías -con todos sus enfoques y aplicaciones- sólo existe un factor de convergencia que se encuentra en el tamaño: la dimensión nano.

Un nanómetro mide 0,00000001 metros (10^{-9} m), es decir, se trata de la millonésima parte de un milímetro. El trabajo de estas nuevas tecnologías consiste en la creación de materiales, dispositivos y sistemas útiles a través de la manipulación de la materia a escala atómica y molecular. Esto comprende

objetos con tamaños entre 1 y 100 nanómetros.

Pero para tener una mejor idea del tamaño al que nos referimos, vale la pena tomar un poco de perspectiva. El metro es el patrón por excelencia para medir el tamaño de las cosas y viene siendo algo así como la altura de una estufa (mil millones de nanómetros). El lado más corto de una foto tamaño postal mide 0.1 metros, un decímetro. El ancho promedio de la uña del dedo índice de las personas mide un centímetro. Un grano de azúcar morena mide alrededor de 1 milímetro de diámetro (1 millón de nanómetros), mientras el cabello humano promedio tiene un grosor diez veces más pequeño (0,0001 metros).

Hasta aquí todos los objetos mencionados los podemos ver a simple vista, si queremos observar objetos más pequeños necesitamos microscopios; los más comunes -y menos potentes- son los ópticos que usan lentes para concentrar la luz proveniente del cuerpo en cuestión y mostrarnos una imagen más grande. Así podemos ver las células de piel humana que miden alrededor de 30 micras (30.000 nanómetros), los glóbulos blancos de la sangre -de unas 10 micras- y las mitocondrias de las células, cuyo grosor ronda los 1000 nanómetros (1 micra).

Pero para cosas aún más diminutas los microscopios ópticos ya no sirven. Esto se debe a que la luz es una onda y sólo permite observar objetos más grandes que su longitud de onda (que va de 400 a 750 nanómetros, dependiendo del color de la luz). Cuando la luz se encuentra con un objeto más pequeño que su longitud de onda, en vez de rebotar en él para permitirnos verlo, simplemente lo atraviesa como si no hubiera nada ahí.

Para producir imágenes de cosas de menor tamaño se necesitan rayos con una longitud de onda aún más diminuta. Los rayos X -con una longitud de entre 0,1 y 100 nanómetros- serían una buena opción pero son muy penetrantes y simplemente atraviesan los objetos que se pretende observar. En su lugar se aprovecha que los electrones, una de las partículas que forman el átomo, pueden portarse como ondas y, con la energía adecuada, funcionan como rayos para tomar imágenes de objetos de 10 nanómetros o más. Con los microscopios de electrones es posible observar algunos virus -como el del sida y la influenza- con un tamaño de 100 nanómetros, así como los anticuerpos que defienden nuestro organismo de agentes externos y que andan por los 12 nanómetros.

Ya estamos en el tamaño de interés, pero si queremos llegar a objetos aún más pequeños necesitamos aparatos todavía más sofisticados. A pesar de que en sentido estricto a éstos podríamos llamarles nanoscopios, y suena muy bien, en realidad se les conoce como microscopios de fuerza atómica. Se trata de aparatos que exploran la superficie de un material a nivel molecular o incluso de átomos

individuales. Gracias a estos aparatos, creados en los laboratorios de IBM a inicios de la década de 1980, es posible observar -entre muchas otras cosas- la molécula de la glucosa (azúcar) que mide aproximadamente un nanómetro y el átomo de cloro, con un diámetro de 0,1 nanómetros.

Precisamente la aparición de los microscopios de fuerza atómica fue una especie de banderazo para el desarrollo de las nanociencias y nanotecnologías. Aunque una importante idea que condujo a estos avances fue planteada por el físico norteamericano Richard Feynman en 1959, por lo general se identifica el inicio real del trabajo en la materia con la creación de los "nanoscopios". Gracias a estos aparatos por primera vez se hizo posible observar y manipular la materia con una precisión prácticamente atómica.

Y las cosas se pusieron realmente interesantes. A esta escala la materia presenta propiedades muy distintas a las que podemos encontrar en la vida cotidiana: entran en juego los principios de la mecánica cuántica, los ajustes en el acomodo de átomos y moléculas pueden cambiar radicalmente las propiedades de un material y, además, cuando crece el área de contacto entre materiales también aumenta su reactividad química. Todo esto se puede aprovechar para un enorme número de aplicaciones que van de la biología a la ciencia de los materiales, la electrónica y la química, por mencionar algunos campos.

Muchos consideran que la nanotecnología es un sistema clave para el futuro, a tal grado que en los últimos 11 años a nivel mundial los gobiernos han destinado 67,5 miles de millones de dólares para apoyar investigaciones en el área. No se podría decir que ha sido una mala inversión: el valor de los productos que contienen nanocomponentes se estima en cerca de 1,4 billones (millones de millones) de dólares para mediados de esta década.

Desafortunadamente en algunos aspectos el boom de los productos con nanocomponentes ha replicado algunos de los problemas que se vivieron con la radiación un siglo atrás. Se han creado productos efectivos para aplicaciones específicas pero que se lanzan al mercado antes de comprobar la ausencia de impactos negativos para los consumidores o las personas que los fabrican.

Pareciera que muchas empresas no consideran una prioridad las medidas de precaución para estas nuevas tecnologías. Pero no siempre es suya toda la responsabilidad, hay casos en que la falta de cuidado resulta del desconocimiento; los riesgos pocas veces se dan a conocer fuera de los círculos académicos, los gobiernos aún no reglamentan el asunto y así los empresarios a veces ni se enteran.

Pero cuando se trata de la salud, más vale un "por si acaso" que un "quién

lo iba pensar". A todos los niveles debe procurarse un enfoque precautorio que ayude a evitar situaciones de riesgo para sacar un máximo provecho de las nanotecnologías. No se trata de caer en un amarillismo en la información o en un fanatismo anti-nano, por el contrario, la mejor forma de promover las nanociencias y nanotecnologías es aprovechándolas de la forma más segura posible.

Aquí entra en juego el principio de precaución, que señala: "Cuando una actividad amenaza a la salud humana o al ambiente, deben tomarse medidas de precaución, inclusive cuando la relación causa-efecto no esté totalmente establecida de manera científica". Básicamente, esto es lo opuesto de lo que se observa actualmente; los productos con elementos nanofabricados se introducen al mercado y si sobre la marcha se comprueban riesgos entonces tal vez se retiren.

Un gran problema radica en que no existen regulaciones adecuadas para garantizar la seguridad de los productos con nanocomponentes o para avisarle al público que un producto los incluye. Pareciera que el entusiasmo por el desarrollo y el potencial de las nuevas tecnologías rebasaron las exigencias de precaución que desde hace años realizan múltiples organismos no gubernamentales, académicos y laborales. No se trata de demandas basadas en un miedo a lo desconocido y con afanes retrógrados, existen evidencias que invitan a la precaución.

Entre 2000 y 2010 se produjeron más de 560 artículos científicos sobre los riesgos de las nanotecnologías para la salud y/o el medio ambiente. Debe tenerse en cuenta que se trata de resultados de estudios *in vitro* o con seres vivos de experimentación, realizados en laboratorio, que no se han desarrollado con seres humanos sino con ratas, peces, moscas y bacterias, entre otros. Así mismo la disponibilidad de nanomateriales utilizada no es la misma que se encuentra en muchos de los procesos y productos. Son situaciones muy específicas pero aún no está totalmente demostrado que no puedan presentarse con los nanoproductos y no se podría esperar años, o décadas, para ver si alguien se enferma o no; sin duda es importante establecer la existencia de riesgos específicos asociados a nanomateriales.

En todo caso las investigaciones han arrojado importantes llamadas de atención: los procedimientos de seguridad para producción de sustancias químicas en muchos casos no son válidos para los nanomateriales; por otro lado se ha probado que, fuera de su matriz, los nanotubos de carbono -unos de los productos más versátiles y utilizados en las nanotecnologías- causan al

organismo esencialmente el mismo efecto que el asbesto: son un agente cancerígeno. Hay que decir que normalmente los nanotubos van integrados a una matriz, amarrados todos juntos, en contraste con los estudios en que los usaron sueltos; pero también hace falta establecer con claridad en qué condiciones los nanotubos pueden desprenderse de su "amarre".

Aún suponiendo que el uso indicado de productos con nanopartículas no implique riesgo alguno para los consumidores –algo que no se sabe a ciencia cierta-, existe el problema del ciclo de vida de los materiales y las condiciones de desecho necesarias para evitar que puedan tener efectos negativos sobre el medio ambiente. Por ejemplo, la quema de basurales con textiles, baterías u otros productos con nanomateriales podría separarlos de su matriz e introducirlos a las cadenas alimenticias por diferentes medios.

Además, materiales como dióxido de titanio y óxido de zinc -muy usados en la industria cosmética- han mostrado impactos muy negativos en peces y se estudia también el riesgo que presenta su tamaño para la penetración en la piel de humanos (algunas de nuestras barreras de defensa no sirven para partículas tan pequeñas). Otros estudios han arrojado que, cuando se llegan a inhalar, las nanopartículas pasan con facilidad los filtros de los pulmones para incorporarse al torrente sanguíneo y -en caso de ser tóxicas- su efecto negativo es mucho mayor en proporción a su masa que el de partículas más grandes.

Un importante factor a considerar es que, debido a la dimensión de las partículas, cuando los materiales entran en el cuerpo de una persona -a través de la piel o por inhalación- no se siente nada. Los factores de riesgo de otras tecnologías te pueden hacer sentir mal en unos días con quemaduras, náuseas u otros síntomas, pero cuando las nanopartículas invaden a una persona ésta no siente nada hasta que es demasiado tarde y su salud se ha visto seriamente comprometida.

A final de cuentas el problema no son los riesgos en sí mismos sino que no se les otorga la seriedad debida. Las autoridades de diferentes niveles aún no toman las medidas necesarias para regular el desarrollo de nanoproductos, las precauciones y los estudios adecuados para permitir su entrada al mercado, así como la información que se le debe ofrecer a los consumidores y a los trabajadores involucrados en el proceso de producción.

Es innegable que las nanotecnologías han llegado para quedarse y sus múltiples y benéficas aplicaciones muy probablemente ayudarán a mejorar la calidad de vida de millones de personas. Quienes promueven las nanotecnologías sugieren que podrían ayudar a resolver grandes problemas:

como la crisis energética, la escasez de agua potable o la forma de atacar enfermedades como el cáncer y el sida sin afectar al paciente.

Sin embargo sus grandes beneficios no pueden hacer que ignoremos una realidad ineludible: toda tecnología implica riesgos. Como hemos aprendido en el pasado -sea con la máquina de vapor, la radiactividad o la energía nuclear- ignorar los riesgos sólo los hace más peligrosos, mientras que tomarlos en cuenta permite asumir las precauciones necesarias para no tener que pagar un costo mayor a la larga.

Tomando en cuenta que día con día aumenta el número de productos con materiales nanofabricados disponibles en el mercado, la importancia de conocer las principales ventajas y factores de riesgo implícitos a estas nuevas tecnologías también crece. El conocimiento y la conciencia de las características, ventajas y riesgos de los nanocomponentes resulta de especial importancia para aquellos sectores expuestos -vinculados directamente a las actividades de investigación y desarrollo con nanopartículas, a la elaboración de productos que las contienen y también el personal ligado al transporte, mantenimiento de instalaciones donde se investiga y produce, así como quienes trabajan en el manejo de los desechos y basura que pueda incluir productos nano.

A este respecto la Red Latinoamericana de Nanotecnología y Sociedad (ReLANS, con sede en la Universidad Autónoma de Zacatecas), como parte de su compromiso social y con el apoyo de la Red Internacional de Eliminación de Contaminantes Orgánicos Persistentes (IPEN), elaboró un folleto de divulgación centrado en América Latina y el Caribe, orientado a ofrecer información sobre 2 temas clave: los riesgos de la nanotecnología y el posible impacto que sus avances pueden tener en el empleo. Aquellas personas interesadas en este tema pueden consultar el folleto completo en la dirección electrónica http://www.relans.org/IPEN_NT_SP.html

Bibliografía

Arvidsson, R. 2012. Contributions to Emission, Exposure and Risk Assessment of Nanomaterials. Gothenburg, Sweden: Chalmers University of Technology.

<http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/162283.pdf>

Chaudhry, Q., Castle, L. 2011. Food applications of nanotechnologies: an overview of opportunities and challenges for developing countries. *Trends of Food Science and Technology* 22: 595–603.

Científica 2011. Global nanotechnology funding 2011.

- <http://www.cientifica.com/research/white-papers/global-nanotechnology-funding-2011/>
- ETUC (European Trade Unions Conference). 2008. ETUC resolution on nanotechnology and nanomaterials. www.etuc.org
- Federici, G., Shaw, B.J., Handy, R.D. 2007. Toxicity of titanium dioxide nanoparticles to rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): Gill injury, oxidative stress, and other physiological effects. *Aquatic Toxicology* 84: 415-430.
- Foladori, G., Invernizzi, N., Bejarano, F. 2012. Implicaciones sociales y ambientales del desarrollo de las nanotecnologías en América Latina y el Caribe. ReLANS/IPEN. www.relans.org
- ICON (International Council on Nanotechnology). (s/f). Database. <http://icon.rice.edu/>
- Joy, B. 2000. Why the future doesn't need us? *Wired*, 8-04. <http://www.wired.com/wired/archive/8.04/joy.html>
- Musee, N. 2009. Proposed approach in nanotechnology risk assessment research: The South African context. *Natural Resources and the Environment*, CSIR, Pretoria.
- NanoCeo (Nanotechnology Citizen Engagement Organization). (s/f). Database. www.nanoceo.net/nanorisks
- Patterson, C., Anderson, A., Sinha, R., Muhammad, N., and Pearson, D. 2012. Nanofiltration Membranes for Removal of Color and Pathogens in Small Public Drinking Water Sources. *Journal of Environmental Engineering* 138: 48–57.
- Poland, C.A., Duffin, R., Kinloch, I., Mayonard, A., Wallace, W.A.H., Seaton, A.; Stone, V., Brown, S., MacNee, W., Donaldson, K. 2008. Carbon nanotubes introduced into the abdominal cavity of mice show asbestos-like pathogenicity in a pilot study. *Nature Nanotechnology* 3:423-428.
- Ppw (The Precautionary Principle Website). (s/f). The Precautionary Principle. European Union. <http://www.precautionaryprinciple.eu/>
- Roco, M., Bainbridge, W. 2003. Converging technologies for improving human performance. NSF/DOC-sponsored report. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Takagi, A., Hirose, A., Nishimura, T., Fukumori, N., Ogata, A., Ohashi, N., Kitajima, S., Kanno, J. 2008. Induction of mesothelioma in p53^{+/−} mouse by intraperitoneal application of multi-wall carbon nanotube. *Journal of Toxicological Sciences* 33: 105-116.



Tuncak, B. 2013. Driving Innovation. How stronger laws help bring safer chemicals to market. The Center for International Environmental Law (CIEL).

http://www.ciel.org/Publications/Innovation_Chemical_Feb2013.pdf

UITA (Unión Internacional de Trabajadores de la Alimentación, Agricultura y afines). 2007. The IUF Resolution. www.rel-uita.org

WWICS (Woodrow Wilson International Center for Scholars). 2011. Inventory of Consumer Products. Project on Emerging Nanotechnologies. Washington D.C.: WWICS.

www.nanotechproject.org/inventories/consumer/