

Hacia la nanociencia verde: nanomateriales, nanoproducidos y nanorresiduos

Carlos Felipe Mendoza* y Laura Meraz Cabrera, Departamento de Biociencias e Ingeniería, CIEMAD-IPN.

Escasez de los recursos naturales

Debido a que los recursos naturales del planeta son limitados, es necesario minimizar su consumo para preservarlos. La síntesis de materiales tradicionalmente ha implicado el consumo de materias primas vírgenes extraídas de la tierra, por lo que deberá incentivarse la cultura de la valoración y aprovechamiento de los residuos susceptibles de tratamiento, como una forma de contribuir a la disminución de la explotación de los recursos no renovables.

Los procesos productivos involucrados en la ciencia de los nanomateriales

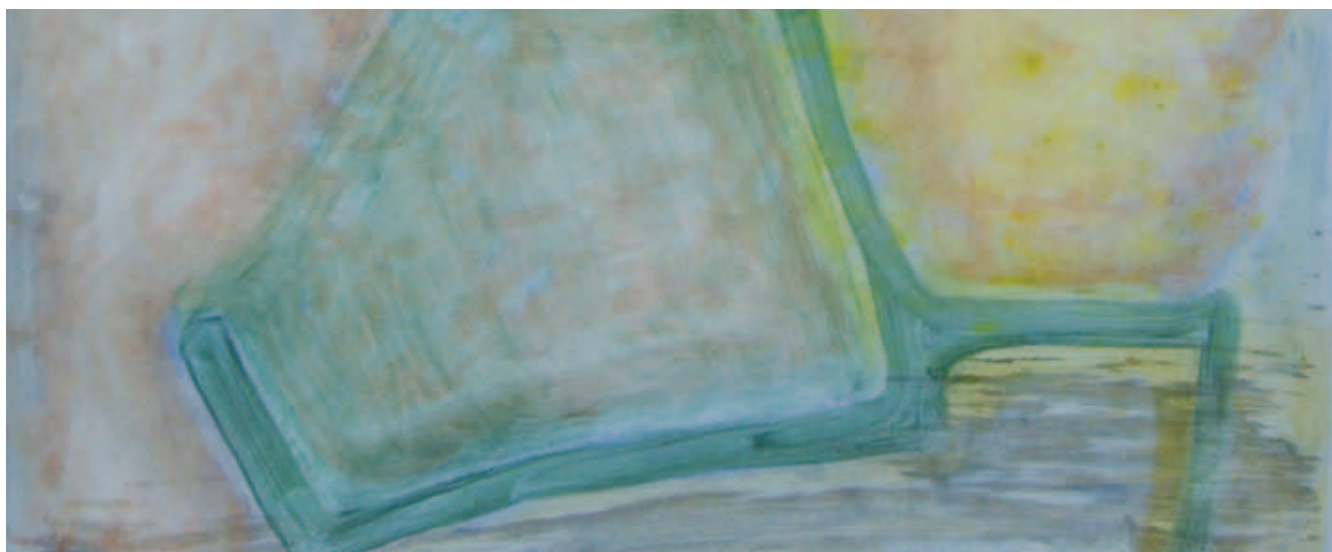
Durante la síntesis de nanomateriales a escala de laboratorio se genera conocimiento sobre las tecnologías y mecanismos que mejoran e innovan los procesos de síntesis. Esta síntesis es el preámbulo de un proceso a escala industrial, que es sólo una de las etapas del proceso productivo conformado por un conjunto mucho más complejo de actividades para producir bienes y servicios competitivos.¹ En esta etapa se busca minimizar el consumo de recursos naturales, aprovechar al máximo la energía involucrada en los procesos, sistematizar y controlar dichos

procesos, alcanzar estándares elevados de calidad y seguridad, así como disminuir la emisión de contaminantes al ambiente.

Preparación de nuevos nanomateriales

En la actualidad existen bastantes razones por las que se desea sintetizar materiales nanoestructurados. El comportamiento de los materiales a escala nanométrica difiere notablemente de los materiales microscópicos, debido principalmente al arreglo de los átomos en un volumen relativamente pequeño y su relativamente grande área específica superficial. Para la obtención de nanomateriales se busca diseñar el mecanismo de síntesis más adecuado,^{2,3} de tal manera que las propiedades fisicoquímicas de los nanomateriales se produzcan a la medida y de acuerdo con la aplicación que se les quiere dar. Sin embargo, esas propiedades tan anheladas también tienen efectos negativos sobre la salud de las personas y organismos que tienen contacto con los nanomateriales. La identificación de los riesgos y la evaluación de la toxicidad asociada a la manipulación y uso de las nanoestructuras son aún incipientes.

Por otro lado, los nanoproducidos⁴ son productos novedosos de uso común y de tecnología de vanguardia a los cuales se les



Gilda Castillo, *Sin título* (detalle).

incorporan nanomateriales durante su fabricación. La utilización de nanomateriales para producir productos comerciales, como los dispositivos electrónicos, provee beneficios sociales, pero también afecta negativamente el medio ambiente, la salud y la seguridad de los consumidores. Por ejemplo, en el campo de la salud,⁵ si bien el uso de nanopartículas posibilita la detección de pequeñas cantidades de sustancias dañinas y agentes infecciosos en el cuerpo humano, debido a la mayor capacidad resolutoria de los instrumentos, en contraposición, la exposición a las nanopartículas permite que éstas atraviesen fácilmente las barreras de los sistemas de protección del organismo humano (cutáneas y pulmonares); lo que dificulta la curación, pues están fuera del alcance de las terapias actuales. Otro ejemplo es la utilización de nanomateriales en el campo del saneamiento ambiental, que permite la eliminación de compuestos no deseados y nocivos presentes en el suelo, el agua y el aire; sin embargo, el desconocimiento del ciclo de vida⁶ de los productos producidos mediante tecnologías nanométricas, impiden por el momento conocer sus efectos tóxicos en los organismos vivos.

Nanoproductos y nanorresiduos: la basura del futuro

Los nanorresiduos son aquellos materiales generados durante los procesos productivos cuyos tamaños son del orden de los nanómetros. También se consideran nanorresiduos los nanoproductos cuya vida útil ha terminado y que se desecharán.

Hacia una nanociencia verde

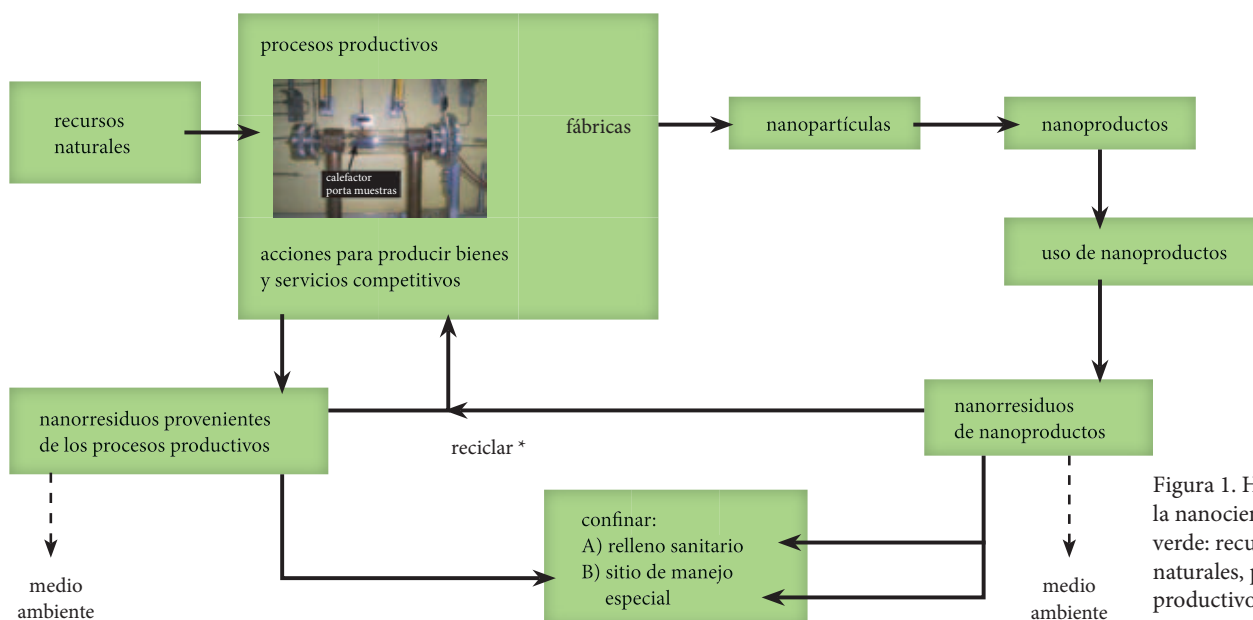


Figura 1. Hacia la nanociencia verde: recursos naturales, procesos productivos, nanomateriales, nanoproductos y nanorresiduos.

* Reciclar: segregar, desmantelar, reusar, extraer, purificar, recuperar, valorización energética (combustión).

La industria de los materiales y los procesos productivos involucrados en la manipulación de nanomateriales, que los incorporan a la fabricación de nuevos productos, son básicamente los generadores de nanorresiduos en los sitios de producción, ya que en sus procesos los obtienen como subproductos indeseables o como fugas en los sistemas de producción. También los consumidores, al utilizar y desechar los nanoproductos, generan este tipo de residuos (figura 1).

Las nanopartículas detectan sustancias dañinas en el organismo

En la actualidad, el conocimiento sobre los nanorresiduos es incipiente y por eso no existen normas, reglamentos de seguridad ni directivas referentes a su eliminación. En México, la legislación prevé claramente que los residuos peligrosos con características CRETIB (corrosivo, reactividad, explosividad, tóxico, inflamable, biológico infeccioso) deberán tratarse o colocarse en sitios de confinamiento especial, por lo que los nanorresiduos generados *in situ* durante los procesos productivos son susceptibles de tener el mismo trato. Sin embargo, hay una laguna en la legislación, pues no contempla qué hacer con los nanoproductos desechados.

No hay una ley o reglamento que específicamente se refiera

a la recolección o tratamiento de los nanorresiduos; sin embargo, es de suponer que son susceptibles de regirse por las ordenanzas existentes tanto para los residuos peligrosos, en el caso de los nanorresiduos, como para los residuos sólidos urbanos, en el caso de los nanoprodutos desechados. Aunque deberán realizarse estudios para comprobar que eso es lo más conveniente.

En el ámbito mundial hay muchos estudios sobre la manera de fabricar nanoestructuras y su implementación para lograr productos de tecnología avanzada. También se conocen con certeza los subproductos que se generan en esos procesos. Lo que ya no está del todo claro es lo que se hace con los nanorresiduos generados; se puede suponer que cada país les da el trato que marca su respectiva legislación, pero no se encuentra evidencia de la manera correcta de manipular los nanorresiduos. En el caso especial de México, por el momento la legislación no ha abordado de forma puntual este asunto pues, para citar sólo un ejemplo, por ningún lado en la legislación aparece si los nanoprodutos desechados (televisiones, mezclillas, empaques y en general productos de uso común con nanopartículas incorporadas) deberán confinarse en los rellenos sanitarios o en sitios de confinamiento especial.

Comentarios finales

Las nanopartículas fabricadas o usadas en los procesos productivos podrían ser liberadas como efluentes al aire, el suelo y los cuerpos de agua, lo que afectaría gravemente el ciclo del agua, la vegetación y las especies en contacto con ellas y, por lo tanto, se pondría en riesgo la seguridad alimentaria y la salud humana.

Los nanorresiduos pueden ser peligrosos y todavía no se legisla sobre su confinación

Con la finalidad de disminuir los riesgos y toxicidad en las personas, causada por la exposición a los nanomateriales por vía oral, cutánea o inhalación, es necesario implementar estrategias para un manejo seguro en cada una de las etapas de la manipulación, mediante la identificación de los peligros existentes cuando se usan nanomateriales. Así, la legislación deberá regular la fabricación, el uso, la recolección, el transporte y el tratamiento de los nanomateriales, así como la disposición final de los nanorresiduos.

La investigación está obligada a desarrollar mejores prácticas en la síntesis y manipulación de los nanomateriales para



Gilda Castillo, *Sin título* (detalle).

preservar el ambiente, la salud y la seguridad. Es necesario reemplazar en lo posible los nanomateriales vírgenes por nanomateriales reciclados y sustituir el sistema lineal de “sacar-fabricar-tirar”¹ por el ciclo cerrado (figura 1), en el cual los nanomateriales se reutilizan infinitamente, de modo que se eliminan los desechos con la finalidad de dirigirse hacia la práctica de la nanociencia verde.

Bibliografía

- ¹ A. Leonard, *La historia de las cosas*, Buenos Aires, Fondo de Cultura Económica, 2010.
- ² O. Goiz, F. Chávez, C. Felipe, N. Morales, R. Peña-Sierra, “Synthesis of Molybdenum Oxide Microsheets via Close-Spaced Vapor Transport”, *Materials Science and Engineering B*, **174** (2010), 174-176.
- ³ O. Goiz, F. Chávez, C. Felipe, R. Peña-Sierra, N. Morales, “CSVT as Technique to Obtain Nanostructured Materials: WO_{3-x}”, *Journal of Nano Research*, **9** (2010), 31-37.
- ⁴ G. Bystrzejewska-Piotrowska, J. Golimowski, P.L. Urban, “Nanoparticles: Their Potential Toxicity, Waste and Environmental Management”, *Waste Management*, **29** (2009), 2587-2595.
- ⁵ J.R. Peralta-Videa, L. Zhao, M.L. López-Moreno, G. Rosa, J. Hong, J.L. Gardea-Torresdey, “Nanomaterials and the Environment: A Review for the Biennium 2008–2010”, *Journal of Hazardous Materials*, **186** (2011), 1-15.
- ⁶ C. Som, M. Berges, Q. Chaudhry, M. Dusinska, T.F. Fernandes, S.I. Olsen, B. Nowack, “The Importance of Life Cycle Concepts for the Development of Safe Nanoprodutos”, *Toxicology*, **269** (2010), 160-169.

*cfelipe98@gmail.com