

# Nanoingeniería y nanoproducción industrial

## Vanesa Zorrilla Muñoz

Desde que el ser humano fabricase por primera vez artículos de madera, cerámica y piedra a partir de técnicas manuales hasta el desarrollo de productos industriales, han pasado casi más de 6.000 años. Desde entonces, la industria manufacturera ha sufrido cambios en técnicas, procesos, materiales y maquinaria. Actualmente, la producción y fabricación industrial asiste a un cambio globalizado emergente debido al uso creciente de los nanomateriales. La creación e investigación de nuevos materiales y estructuras a nanoescala está permitiendo abrir un campo de posibilidades en la producción y fabricación industrial infinito. Las ventajas reales y los inconvenientes de los nanomateriales aún no quedan del todo claros, pero sin duda, la aplicación de estos en diversos productos abre una nueva era a la producción industrial y genera nuevas expectativas para el comercio y el consumo.

Según el National Institute of Environmental Health Sciences (USA), la comunidad científica aún no ha resuelto por unanimidad una definición precisa de los nanomateriales, si bien, se ha llegado a confir-

mar que los nanomateriales están parcialmente caracterizados por su pequeño tamaño, medido en nanómetros. De esta forma, el término nanómetro abarca todos aquellos materiales desarrollados con la dimensión de una millonésima parte de un milímetro, aproximadamente 100.000 veces más pequeño que el diámetro de un cabello humano. Es decir, los nanomateriales, por definición, deben tener, por lo menos, una dimensión igual o inferior a 100 nanómetros.

## Nanoherramientas

En los últimos 20 años, los nanomateriales han sido considerados nuevas herramientas en el campo de la investigación, la innovación y el desarrollo a partir del control de la estructura fundamental y el comportamiento de la materia a nivel atómico. Los materiales fabricados por procesos industriales a esta escala tan pequeña se refieren, a menudo, a la producción de nanomateriales artificiales (NA) o nanoingeniería, cuyas propiedades varían considerablemente: ópticas, magnéticas y eléctricas, entre otras.

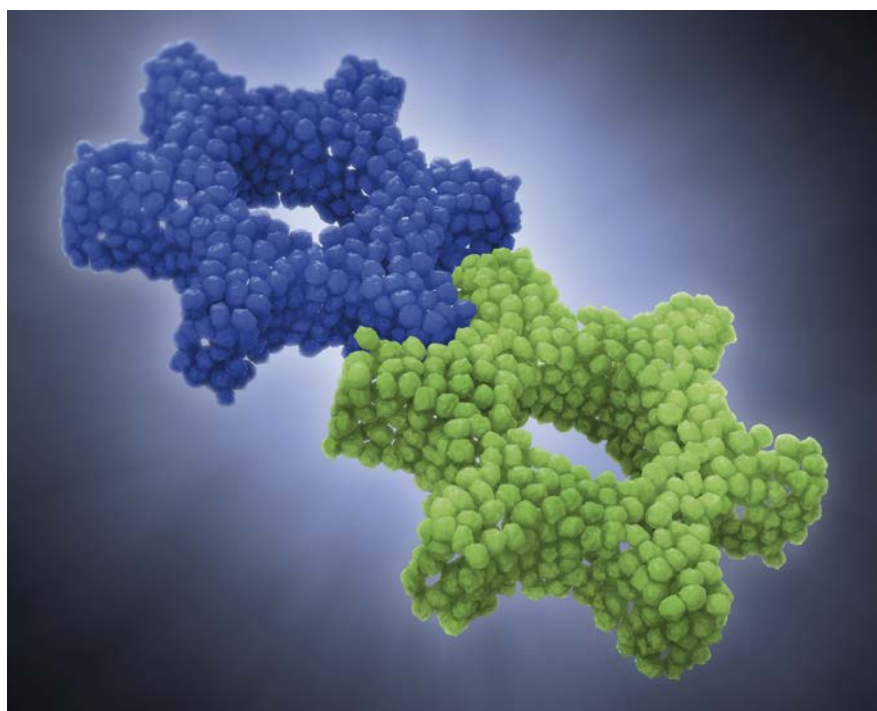
Estas propiedades emergentes de los NA tienen el potencial de ofrecer un gran impacto en campos como la electrónica, la medicina y la alimentación. Por ejemplo, los NA pueden ser utilizados para diseñar fármacos que puedan dirigirse hacia los órganos o células específicas en el cuerpo, como las células cancerígenas y, de esta forma, mejorar la eficacia o servir de complemento de la terapia. Otras propiedades hacen referencia a que los NA disponen de una gran capacidad de adsorción o catalización, lo que aumenta la capacidad de reacción química de ciertos compuestos.

De esta forma, pueden ser añadidos al cemento, tela y otros materiales para hacerlos más fuertes y ligeros. Asimismo, son ejemplos de aplicaciones aquellas que están relacionadas con la aplicación medioambiental, ya que los NA pueden ser utilizados en la regeneración ambiental o como productos de limpieza para la neutralización de toxinas. En este campo, diversos estudios han indicado que los NA ofrecen, por ejemplo, un potencial multifuncional en la limpieza y tratamiento de aguas: como sucede con las membranas para tratamiento de agua (separación de contaminantes y agregación de reactivos químicos) o como sucede en la aplicación de nanomagnetita para la eliminación de arsénico (metal contaminante que suele encontrarse en el agua).

En la actualidad, se conoce una gran variedad de NA, si bien, las composiciones más importantes son realizadas a partir de silicatos, carburos, nitruros, óxidos, boruros, seleniuros, telururos, sulfuros, haluros, aleaciones metálicas, intermetálicos, metales, polímeros orgánicos y diversos materiales compuestos. La tabla 1 identifica una lista no exhaustiva de los distintos tipos de NA, y ofrece una descripción básica y ejemplos de aplicaciones.

Atendiendo a las diversas aplicaciones y los NA, se puede decir que la nanoingeniería incluye el conjunto de técnicas y procesos que conforman la aplicación de los NA en las ciencias de la ingeniería, desde su producción a nanoescala, distribución como producto semiacabado, comercialización como producto terminado y estudio de las diferentes aplicaciones que pueden ofrecer desde el punto de vista económico, social y medioambiental.

Engranajes microscópicos. Foto: Shutterstock.



Fulerenos	Descripción	Aplicaciones
Fulerenos	Formados por carbono (C60) constituyen moléculas con una estructura en forma de jaula de 60 o más átomos.	Memoria de ordenadores, cables, equipos y materiales electrónicos.
Nanotubos	Moléculas de fullereno con forma toroidal o cadenas de moléculas de carbono C60 apilados. Disponen de mayor resistencia mecánica con menos peso por unidad de volumen que los materiales convencionales.	Bates de béisbol, raquetas de tenis, piezas de automóvil. Pantallas planas de televisores, baterías y otros aparatos electrónicos.
Los nanocristales o puntos cuánticos	Agregados formados por unos pocos cientos a decenas de miles de átomos que se combinan en una forma cristalina en la materia en forma de "grupo". Sus propiedades ópticas se determinan por el tamaño de partícula y la forma debido a los efectos de confinamiento cuántico.	Pantallas ópticas, memorias de ordenadores, aplicaciones de criptografía, aplicaciones para la energía fotovoltaica, medios de almacenaje electrónicos flexibles, redes neuronales, componentes de telecomunicaciones y computación cuántica, mejora de imágenes biológicas para el diagnóstico médico.
Nanogeles	Estructura de poros a escala nanométrica. Red de poros de sílice de aerogel (2 a 50 nm) que representa el 95% del volumen del material.	Aislamiento térmico, base para la fabricación de nanocompuestos, captura de fragancias, catalizadores químicos y bioquímicos: aerogeles, hidrogeles y otros materiales nanoporosos.
Nanodispositivos	Los productos electrónicos, ópticos, mecánicos o electromecánicos construidos a nanoescala o con componentes de tamaño nanométrico.	Diagnóstico y tratamiento médico, tecnologías de la información, aplicaciones alimentarias y farmacéuticas y vigilancia ambiental.
Nanofibras	Un diámetro de menos de un micrón, o una dimensión de 100 nanómetros (nm) o menos. Nanofibras poliméricas producidas por <i>electrospinning</i> , de baja densidad, gran área de superficie y masa, volumen de poro elevado y poco tamaño de poro.	Aplicaciones quirúrgicas, medios de filtración y barrera, toallitas, productos para el cuidado personal, material compuesto, prendas de vestir, aislamiento térmico, almacenamiento de energía.
Nanocables	Dependiendo del material de que está hecho un nanocable puede disponer de las propiedades de un aislante, un semiconductor o un metal.	Identificación de marcadores biológicos y de células, aplicaciones electrónicas tales como microprocesadores y nanorobots.
Nanopolvos	Compuestos de nanopartículas que tienen un diámetro medio inferior a 50 nm.	Administración de fármacos y farmacología, combustibles sólidos, elaboración de pastas, pinturas y esmaltes especiales, revestimientos y acabados.
Nanopartículas	Las partículas que tienen una dimensión que es de 100 nanómetros o menos de tamaño, tienen una mayor área de superficie por unidad de peso que las partículas más grandes.	De forma segura se puede inyectar en el cuerpo y se unen preferentemente a las células cancerosas por lo que es visible.
Nanopalanca	Vigas microscópicas, flexibles y técnicas litográficas construidas con semiconductores. Pueden recubrirse con moléculas capaces de unirse a sustratos específicos. Cuando se detecta que el sustrato se desvía del voladizo, se produce el cambio en la conductancia del dispositivo.	La identificación de biomarcadores y células.
Nanoesferas	Nanopartícula esférica que consta de un núcleo dieléctrico cubierto por una carcasa metálica delgada.	Dirigido a aplicaciones con las células, imágenes, medicamentos específicos.
Nanopelículas	Nanomaterial utilizado en películas delgadas. Puede ser invisible si es lo suficientemente pequeño.	Se utiliza para hacer películas delgadas en aplicaciones como repelente al agua, antirreflejo, autolimpieza, antivaho o como conductor eléctrico. Ejemplos de productos: lentes, pantallas de ordenador y cámaras.
Grafeno	Forma una celosía de nido de abeja a escala atómica a partir de átomos de carbono.	Es uno de los nanomateriales más prometedor debido a su combinación única de propiedades excelentes, que abre un camino para su explotación en una amplia gama de aplicaciones que van desde la electrónica a la óptica, los sensores y los biodispositivos.

Tabla 1. Lista no exhaustiva de distintos tipos de nanomateriales artificiales.

Existen diversas técnicas que han sido desarrolladas y probadas en la producción y fabricación de NA y están fundamentadas teniendo en cuenta dos enfoques:

Las técnicas de "arriba hacia abajo" que utiliza bloques de construcción largos (tales como obleas de silicio) y varios procesos de producción aplicada, como la litografía, así como grabado en plasma y grabado húmedo. Estas técnicas son aplicadas en el desarrollo y producción de elementos tales como microprocesadores, sensores y sondas.

En el otro extremo, están las técnicas de "abajo hacia arriba" que tratan de organizar los componentes más pequeños en conjuntos más complejos dentro de una misma estructura, tales como átomos, moléculas o clústers de átomos y moléculas. Estas técnicas son utilizadas en la producción de sustancias naturales y en aplicaciones dentro del campo de la investigación, como en la microscopía de fuerza atómica para la manipulación de materiales a nanoescala.

Mientras que las técnicas y producción de los NA proporcionan importantes

aplicaciones, los efectos potenciales sobre la salud humana y su toxicidad están todavía en investigación. La importancia guarda relación con que las partículas de tamaño nanométrico pueden entrar en el cuerpo humano a través de la inhalación de sustancias, la ingestión de alimentos y el contacto a través de la dermis, tanto en el propio entorno de trabajo (industria manufacturera de nanomateriales) como durante el consumo.

También existe una considerable preocupación medioambiental por el desco-

nocido ciclo de vida de los nanomateriales, la persistencia y la biodegradabilidad en el medio ambiente. Ciertas investigaciones se han llevado a cabo en relación con la seguridad, salud y los efectos medioambientales de los NA con el fin de realizar acciones prioritizadas y ambientadas en el contexto de informar a los responsables políticos en el desarrollo de metodología adecuada y la fundamentación de regulaciones específicas y apropiadas que puedan hacer frente a la exposición a la que se refieren los peligros que pueden entrañar los nanomateriales y productos a nanoescala.

Cabe citar el proyecto Engineered Nanoparticles-Review of Health and Environmental Safety (ENRHES) desarrollado entre el año 2008 y 2009, en el que se llevó a cabo una revisión de cuatro tipos de NA: fulerenos, nanotubos de carbono, metales y óxidos metálicos. Siguiendo este contexto, cabe indicar que la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) ha identificado desde hace tiempo la necesidad de analizar el potencial para la seguridad por preocupaciones causadas por los nanomateriales manufacturados. Inició un programa de trabajo en el año 2006, para garantizar que los enfoques de peligro, la exposición y evaluación de riesgos de los nanomateriales manufacturados fuesen de la más alta calidad y estuviesen basados en la ciencia internacionalmente armonizada.

### Seguridad de los nanomateriales

La OCDE y sus países miembros han llegado a la conclusión de que los enfoques para el control y evaluación de los productos químicos tradicionales son, en general, adecuados para la evaluación de la seguridad de los NA, pero pueden tener que adaptarse a las características específicas de estos. Al igual que con otros productos químicos, es evidente que cada NA puede plantear problemas específicos, pero, en la mayoría de casos, pueden ser tratados con los métodos de ensayo existentes y enfoques de evaluación.

En algunos, podría ser necesario adaptar los métodos de preparación de la muestra y la dosimetría de las pruebas de seguridad. Del mismo modo, se podrían llegar a necesitar adaptaciones para ciertas directrices de examen. En este sentido, la OCDE continúa revisando todas las metodologías existentes para identificar e implementar los cambios necesarios en la aplicación de los NA.

Teniendo en cuenta lo anterior, en la UE existe regulación relacionada con los NA

a través de la Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH), al ser considerados sustancias químicas. Las obligaciones generales de la REACH, por tanto, obligan a los productores a que apliquen los requisitos de la REACH tal como sucede con cualquier otra sustancia o preparado químico. La REACH proporciona una legislación aplicable a la fabricación y producción de los NA, comercialización y uso de sustancias, en forma de preparados o productos, y, en la actualidad, no existen disposiciones que se refieran explícitamente a los NA.

Sin embargo, la REACH tiene un papel central en la recogida, evaluación y difusión de información sobre las sustancias y preparados como los NA. En particular, la REACH indica que la inscripción es obligatoria, conforme al informe sobre notificación y registro de 30 de noviembre de 2010, aplicado a las sustancias fabricadas o importadas en 1.000 toneladas o más al año, y según el informe de 1 de junio de 2013, aplicado a sustancias con volúmenes superiores a 100 toneladas e inferiores a 1.000 toneladas por año.

La REACH también señala que los NA que cumplen los criterios para ser clasificadas como peligrosas con arreglo al Reglamento 1272/2008 sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas deben ser clasificadas y etiquetadas. Muchas de las disposiciones relacionadas, incluyendo las hojas de datos de seguridad y la clasificación y el etiquetado, son aplicables independientemente del tonelaje en que se fabrican o importan sustancias. Por tanto, las materias (incluidos los NA) que satisfacen los criterios de clasificación como peligrosos y puestos en el mercado, deben ser notificadas a la REACH.

Por otra parte, la REACH reconoce que el reglamento de biocidas incluye disposiciones específicas relativas a los nanomateriales y, por tanto, estas disposiciones se aplican a los productos y las sustancias que cumplen los requisitos del reglamento, aplicándose tanto a las sustancias activas como a las no activas que presenten el 50% o más de las partículas con un tamaño comprendido entre 1 y 100 nm en al menos una dimensión, o bien, que se presenten en partículas que se encuentran sueltas o formando un agregado o aglomerado. En tal caso, la REACH especifica que cuando en un biocida se utilizan sustancias activas y no activas, es necesario realizar una evaluación específica de los riesgos. En la etiqueta del biocida debería figurar el nom-

bre de cada nanomaterial seguido de la palabra "nano" entre paréntesis.

Con el fin de registrar mundialmente todos los nanomateriales, existen diversas iniciativas. En EEUU, destaca la National Nanotechnology Initiative (NNI), que está generando una robusta infraestructura de datos y la información digital de la nanotecnología para apoyar el intercambio efectivo, la colaboración y la innovación en todas las disciplinas y aplicaciones. El registro está abierto públicamente y archiva de forma correcta los datos de nanomateriales que se han puesto a disposición en la comunidad de nanomateriales.

### Convocatorias de investigación

En cuanto a los actuales focos de investigación relacionados con los nanomateriales, el Programa Horizon 2020 de la UE tiene abiertas diversas convocatorias de investigación. Entre estas convocatorias, cabe indicar la que relaciona los riesgos potenciales de los nanomateriales para el ser humano y el medio ambiente. En particular, en dicha convocatoria se especifica que se refiere a estos riesgos que solo están presentes cuando existen tanto la exposición, como un peligro potencial del nanomaterial.

El reto que se plantea es hacer frente a la predicción de la distribución ambiental, la concentración y la forma (especialización) de los nanomateriales. La convocatoria incluye tanto estudios de liberación y exposición de laboratorios, de campo y de modelos de simulación de la posible liberación y la transformación de los nanomateriales de transporte y destino, así como la disponibilidad y el potencial de bioacumulación, de tal forma que se permita una evaluación temprana de la exposición potencial y se facilite el diseño de producto y el análisis del ciclo de vida.

Finalmente, la nanoingeniería se presenta para las próximas décadas, no solo como un desafío de las técnicas de fabricación y producción, la prevención medioambiental, así como la seguridad y salud humana. También se muestra como un avance socioeconómico globalizado que, probablemente, cambiará nuestros hábitos de consumo, sociales y bioéticos.

---

#### Vanesa Zorrilla Muñoz

Colegiada del Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos Industriales de Bizkaia. Es doctora en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Extremadura y profesora asociada al Departamento de Ingeniería Mecánica en la Universidad Carlos III de Madrid.