

## LOS NANOMATERIALES Y SU IMPORTANCIA EN LA SÍNTESIS AMIGABLE CON EL AMBIENTE

## NANOMATERIALS AND THEIR IMPORTANCE IN ECO-FRIENDLY SYNTHESIS

Celia Lizeth Gómez Muñoz<sup>1,\*</sup>, Plácido Zaca-Morán<sup>1</sup> y Orlando Zaca-Moran<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Instituto de Ciencias, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. CP 72050, Puebla, Puebla, México.

<sup>2</sup>Instituto Politécnico Nacional. Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada. Ex-Hacienda de San Juan Molino. Km 1.5 de la Carretera Estatal Santa Inés, Tecuexcomac-Tepetitla, Tepetitla. CP 90700. Tlaxcala, México.

\*Autor de correspondencia: [celialgmz@gmail.com](mailto:celialgmz@gmail.com)  
Tel.: +52 (222) 229 55 00. Extensión 1332

### Abstract

The nanomaterials fabrication has been one of the technologies that has been continuously in development because its applications cover practically all areas of science and mainly to the development of nanotechnology. The techniques that are used to fabricate this type of material on a low dimensional scale, involve very expensive systems, dangerous chemical reagents, and a great energy consumption, as well as polluting the environment. It is important to make future researchers aware that the study and fabrication of nanomaterials can be carried out using eco-friendly techniques.

**Keywords:** nanomaterials, nanotechnology, synthesis, environment, eco-friendly.

## Resumen

La fabricación de nanomateriales ha sido una de las tecnologías que ha estado continuamente en desarrollo debido a que sus aplicaciones abarcan prácticamente todas las áreas de la ciencia y principalmente al desarrollo de la nanotecnología. Las técnicas que se utilizan, para fabricar este tipo de materiales a baja escala dimensional, implican sistemas muy costosos, químicos peligrosos y un gran consumo de energía, así como contaminan el medio ambiente. Es importante concientizar a los futuros investigadores que el estudio y fabricación de nanomateriales pueden ser llevados a cabo mediante técnicas libres de contaminación.

**Palabras clave:** nanomateriales, nanotecnología, síntesis, medio ambiente, eco-amigable.

## Introducción

En los últimos años ha habido un gran interés en miniaturizar y economizar los dispositivos utilizados tanto en electrónica, como en medicina y una herramienta útil para esta finalidad es el uso de los nanomateriales o materiales nanoestructurados. Este tipo de materiales se caracterizan por tener al menos una de sus dimensiones menor a 100 nm, esto es un tamaño 150 veces inferior al diámetro de un cabello humano (15  $\mu\text{m}$ ), por mencionar un ejemplo comparativo. Los nanomateriales se encuentran en la escala de  $10^{-9}$  m, lo que significa que es una milmillonésima parte de un metro (Kolahalam et al., 2019). En comparación con los materiales en bulto que se usan comúnmente en escalas mayores a la nanométrica, los nanomateriales presentan propiedades físicas y químicas diferentes de gran interés en el desarrollo de la nanotecnología debido a su tamaño y su morfología (Kolahalam et al., 2019).

Las propiedades de los nanomateriales generalmente se clasifican en físicas y químicas, donde las físicas comprenden características ópticas como su color, su capacidad de absorción y reflexión a diferentes tipos de radiación (luz); también incluyen las propiedades mecánicas como elasticidad, ductilidad y flexibilidad; así como otras propiedades como hidrofiliidad, hidrofobicidad, suspensión, difusión y sedimentación. Otro tipo de propiedades físicas son la conductividad eléctrica y térmica. Por otro lado, las propiedades químicas son la reactividad, la estabilidad y la sensibilidad a factores como la humedad, la atmósfera, el calor y la luz. También forman parte de esta clasificación las propiedades antibacterianas, antifúngicas y de toxicidad, resistencia a la corrosión, reducción e inflamabilidad (Ealia & Saravanakumar, 2017).

Los materiales nanoestructurados han impactado en muchos campos del conocimiento, interrelacionando muchas áreas de la ciencia como la Física, Química, Ingeniería, Materiales y Medicina (Kolahalam et al., 2019) debido a sus propiedades físicas y químicas antes mencionadas. Todas estas propiedades juegan un factor significativo en diversas aplicaciones en los campos de la electrónica moderna, energías renovables, aplicaciones biomédicas y ambientales. En estudios recientes se ha demostrado la aplicación de los nanomateriales en medicina (Zaca-Morán et al., 2017), sensores (González-Sierra et al., 2017) y en la industria de alimentos (Morales-Olán et al., 2022).

Los nanomateriales han formado parte de nuestra naturaleza y han sido fabricados de manera natural por plantas, animales o procesos fisicoquímicos cuando algún tipo de energía interactúa con la materia hasta miniaturizarla y/o modificarla; sin embargo, lo más impactante son los métodos de síntesis de nanomateriales realizados por el hombre de forma artificial. Es por esto por lo que es fundamental desarrollar nuevas técnicas y metodologías amigables con el medio ambiente para la síntesis y fabricación de nanoestructuras.

El presente trabajo trata de contrastar, en forma general, las técnicas de síntesis de nanomateriales y su impacto con nuestro medio ambiente con tecnologías alternativas novedosas para el estudio y desarrollo de materiales nanoestructurados con un mínimo impacto ambiental.

### Clasificación de los nanomateriales según su dimensión

Los nanomateriales se pueden clasificar según sus dimensiones en 0D, 1D, 2D y 3D (Figura 1) como se describen a continuación:

- \* Nanomateriales 0D (dimensión cero): comprende a los nanomateriales cuyas tres dimensiones se encuentran en la escala nanométrica, las nanopartículas y los puntos cuánticos son de este tipo.
- \* Nanomateriales 1D (unidimensionales): abarca a los nanomateriales que poseen al menos una de sus dimensiones en la escala nanométrica, por ejemplo: los nanorodillos, los nanotubos o los nanocables.
- \* Nanomateriales 2D (bidimensionales): incluye a los nanomateriales que tienen dos de sus dimensiones en la escala nanométrica como las nanopelículas, las nanocapas y los nanorecubrimientos.
- \* Nanomateriales 3D (tridimensionales): comprende a los materiales cuyas tres dimensiones se encuentran fuera de la escala nanométrica. Por ejemplo: nanocompositos, estructuras núcleo-cara, multi-nanocapas, paquetes de nanocables y nanotubos (Kolahalam et al., 2019).

Es importante mencionar que esta clasificación depende fuertemente del movimiento de los electrones a lo largo de las dimensiones de los nanomateriales (Jeevanandamet al., 2018). Por ejemplo, en los nanomateriales 0D los electrones están atrapados en un espacio adimensional, mientras que los nanomateriales 1D tienen electrones que pueden moverse a lo largo del eje x. Asimismo, los nanomateriales 2D y 3D tienen movimiento de electrones a lo largo de los ejes (x, y) y (x, y, z), respectivamente (Jeevanandamet al., 2018).

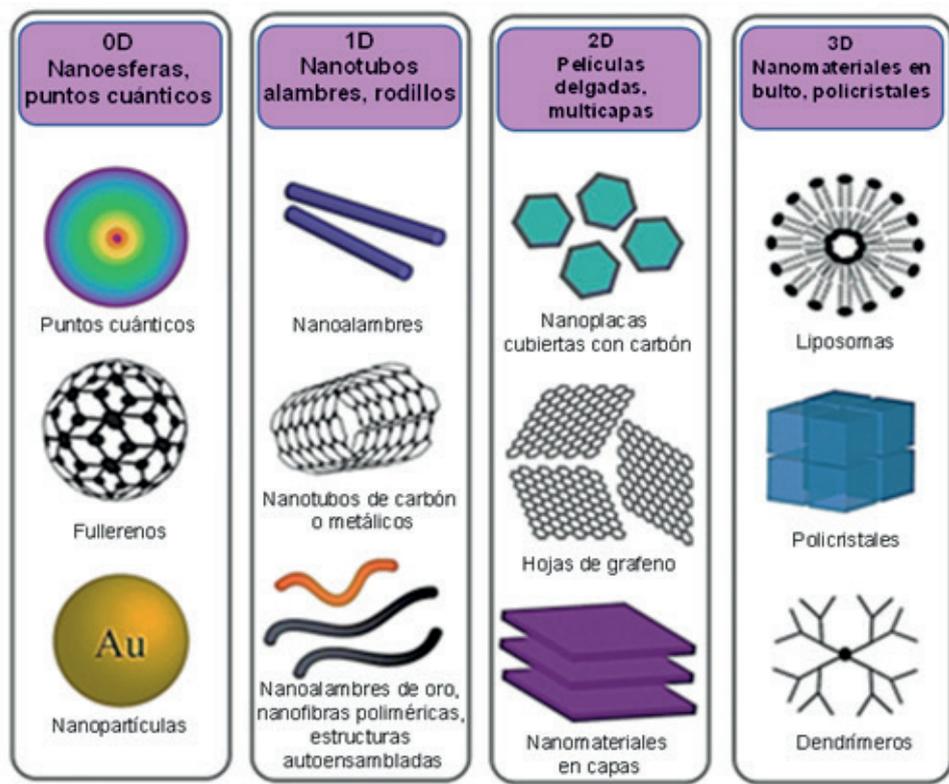


Figura 1. Representación gráfica de la clasificación de los nanomateriales según su dimensión (Pillai & Ganguly, 2021).

### Clasificación de los nanomateriales según su composición

Los materiales nanoestructurados pueden ser de diferentes tipos en función de su morfología, tamaño, propiedades y composición química:

*a) Nanomateriales a base de carbono*

La base de este tipo de nanomateriales es el carbono. Dentro de esta clasificación se encuentran los nanotubos de carbono (CNTs, por sus siglas en inglés) y los fullerenos (C60). Los CNTs son básicamente láminas de grafeno enrolladas en forma de tubo, como su nombre lo dice y son mucho más fuertes que el acero. Hay dos tipos de CNTs de pared simple y de paredes múltiples. Mientras que los fullerenos son alótopos de carbono que presentan estructuras de jaula hueca con sesenta o más átomos de carbono; su estructura es similar a un balón de fútbol con átomos de carbono arreglados en forma pentagonal y hexagonal en un patrón regular. Como todos los nanomateriales presentan buena conductividad eléctrica, alta afinidad electrónica y alta resistencia (Kolahalam et al., 2019).

Este tipo de nanomateriales está llamando mucho la atención de los científicos dado que el carbono es la base de todo lo que encontramos en la naturaleza y además que para obtener este tipo de materiales se emplean reactivos agresivos y peligrosos para la salud humana y el medio ambiente. Por esta razón, los nanomateriales a base de carbono se consideran una clase de material nanoestructurado que brinda la oportunidad de resolver muchos problemas actuales y así satisfacer la remediación ambiental, almacenamiento de energía y demandas de conversión de energía, entre otros.

En consecuencia, se ha investigado sobre la síntesis de nanomateriales basados en carbono conocidos

como puntos cuánticos de óxido de grafeno (GOQDs, por sus siglas en inglés). Los puntos cuánticos son cristales de tamaño nanométrico que actúan como semiconductores según la temperatura y la pureza del material del que estén hechos; el intervalo estrecho de tamaño (1-10 nm) hace que los GOQDs presenten propiedades físicas similares a las de la mecánica cuántica y sus propiedades ópticas dependen básicamente de su tamaño y morfología (Baig et al., 2021). Por otro lado, el grafeno es un alótropo del carbono que posee una red hexagonal formada por átomos de carbono, arreglados en forma de panal en una superficie plana bidimensional. Generalmente, el espesor de la hoja de grafeno es de alrededor de 1 nm (Ealia & Saravanakumar, 2017). Los GOQDs estudiados por los autores se han fabricado a partir de fibras de poliacrilonitrilo (PAN) electrohiladas, carbonizadas y exfoliadas (Zaca-Morán et al., 2021). La importancia del método de fabricación usado en el grupo de los autores de este trabajo consiste en que se obtienen de una forma sencilla y sobre todo amigable con el ambiente.

*b) Nanomateriales metálicos*

Los materiales de partida de este tipo de nanomateriales son iones de metales di- o tri-valentes. Existen diferentes métodos para la preparación de nanomateriales metálicos como químicos o fotoquímicos y se llevan a cabo mediante el uso de agentes reductores, que reducen los iones a nanopartículas metálicas. Las nanopartículas metálicas presentan un área superficial alta y tienen buena capacidad de adsorción de moléculas pequeñas (Kolahalam et al., 2019).

*c) Nanomateriales semiconductores*

Los nanomateriales semiconductores pueden presentar propiedades metálicas y no metálicas. Una característica importante es que la brecha de energía prohibida es ancha y al modificarla presenta propiedades diferentes (Kolahalam et al., 2019).

*d) Nanomateriales compósitos*

Los nanomateriales compósitos son multifásicos, pueden constar de una fase en la escala nanométrica que se puede combinar con otros materiales en bulto (por ejemplo, nanofibras híbridas) o estructuras más complejas como una red metal-orgánica. Este tipo de nanomateriales pueden estar compuestos de una base metálica o base orgánica combinado con cualquier material metálico, cerámico o polimérico en bulto (Jeevanandam et al., 2018).

**Métodos de síntesis de los nanomateriales**

Generalmente se utilizan tres aproximaciones principales para la síntesis de nanomateriales:

- o Métodos biológicos
- o Métodos físicos
- o Métodos químicos

La síntesis de materiales nanoestructurados usando la aproximación de métodos físicos se basa principalmente en dos tipos:

\* De arriba hacia abajo (*Top-down*). En los enfoques de arriba hacia abajo, los materiales en bulto se dividen para producir materiales nanoestructurados (Figura 2). Los métodos de arriba hacia abajo incluyen la molienda mecánica, ablación láser, sputtering y electrohilado.

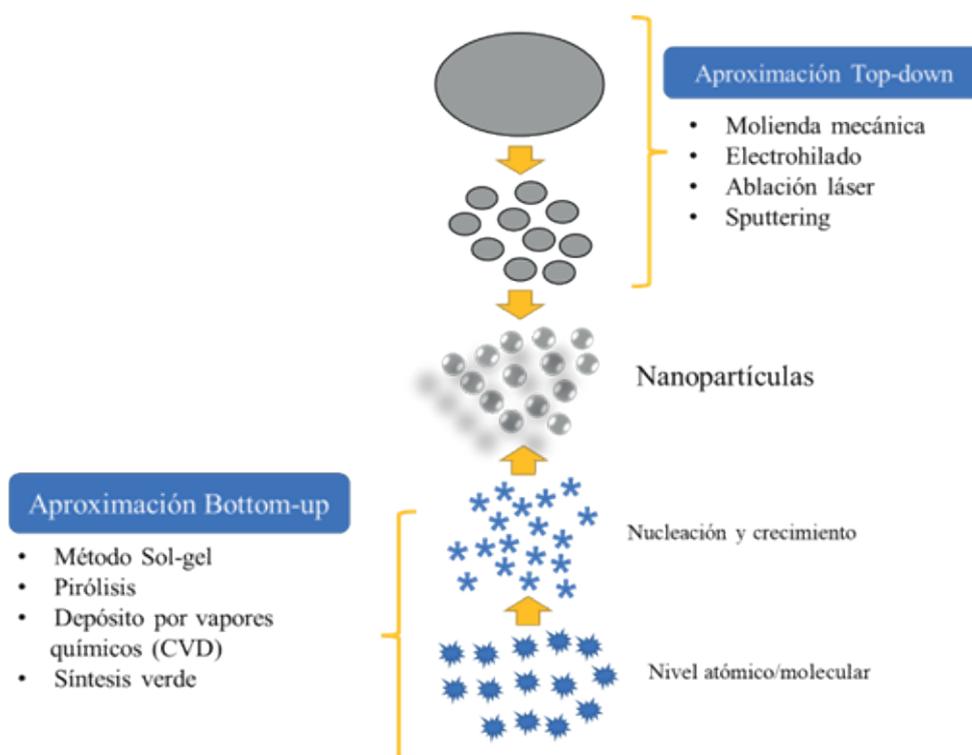


Figura 2. Síntesis de nanomateriales usando la aproximación de métodos físicos (Baig et al., 2021)..

**Electrohilado.** En este trabajo se le dará especial atención al método de electrohilado, dado que los autores han estudiado nanomateriales utilizando este método. El electrohilado (Figura 3) es uno de los métodos top-down más simples y efectivos para el desarrollo de materiales nanoestructurados; generalmente se utiliza para producir nanofibras a partir de una amplia variedad de materiales, generalmente polímeros. Las longitudes de estos nanomateriales ultrafinos pueden extenderse hasta varios centímetros.

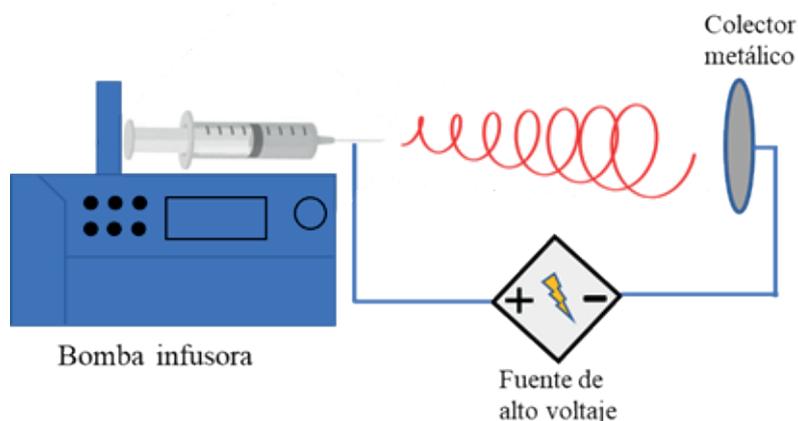


Figura 3. Diagrama esquemático de la técnica de electrohilado (Sharma & James, 2022).

**Irradiación de láser pulsado:** Econsiste en modificar un material mediante altas energías. Es una técnica efectiva en la preparación de nanopartículas metálicas, óxidos metálicos, aleaciones y hete-

roestructuras. Es un método relativamente fácil, ecológico y produce materiales de alta pureza (Naik et al., 2022).

\* De abajo hacia arriba (Bottom-up). Este método puede ser en fase líquida o gaseosa, se condensan nanopartículas en las que los materiales más grandes se forman por la combinación química de los iones más pequeños (Figura 2), algunas técnicas son:

**Depósito por vapor químico** (CVD, por sus siglas en inglés) este proceso implica la exposición de un sustrato a precursores descompuestos térmicamente en estado gaseoso, lo que da como resultado el depósito del producto sobre la superficie del sustrato a alta temperatura y condiciones de vacío (Adetayo & Runsewe, 2019).

**Evaporación térmica:** este método consiste en la emisión en una fuente de material que es calentada y se condensa en un sustrato. La fuente puede ser un alambre refractivo o un crisol calentado eléctricamente, que contiene el material a evaporar. Es necesaria una cámara de depósito a alto vacío para evitar la oxidación de la fuente (Levy, 2016).

Por último, la síntesis de nanomateriales usando la aproximación de métodos químicos comprende métodos como los que se describen a continuación:

**Síntesis coloidal,** consiste en disolver una sal precursora, un reductor y un estabilizante en una fase continua o dispersante (un líquido). Este último puede jugar el papel de reductor, de estabilizante o ambos.

**Irradiación con microondas.** Es una técnica de reducción en donde la fuente de radiación empleada son ondas electromagnéticas de alta frecuencia, utilizadas para calentar un material conteniendo cargas eléctricas, los solventes polares se calientan y sus componentes moleculares se ven obligados a girar con el campo y pierden energía en colisiones.

A pesar del impacto que tiene la producción de nanoestructuras, esta producción desmedida conlleva a una contaminación masiva de nuestros afluentes, los cuales pueden contaminar nuestros mantos acuíferos y por lo tanto, podrían llegar a contaminar el agua de consumo humano, impactando directamente en nuestra salud y los seres vivos de los ecosistemas. Por lo tanto, se considera de suma importancia el desarrollo de técnicas de síntesis de materiales nanoestructurados que sean seguros, logrando un equilibrio entre el desarrollo de la nanotecnología, la salud humana y el medio ambiente.

## Conclusiones

Sin duda los materiales nanoestructurados seguirán formando parte de nuestra vida diaria, los encontraremos cada vez más en los productos de consumo como alimentos, ropa, cosméticos, medicamentos, etc. Por lo tanto, es importante reducir al mínimo los productos residuales provocados por sus técnicas de fabricación. Por este motivo incursionar en la síntesis de nanoestructuras mediante síntesis amigables con el ambiente, por ejemplo la síntesis verde, reducirá los efectos medioambientales reduciendo los riesgos de contaminación en el aire, el agua o la tierra. La nanotecnología es una herramienta clave para una vida limpia y sostenible.

## Agradecimientos

Los autores agradecen el financiamiento recibido de la BUAP, a través de la Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado y del Instituto de Ciencias (ICUAP) mediante el convenio No. 365/2022. Así como a CONACYT, por la beca otorgada a través del proyecto con clave BP-PAIM-20220906151734769-3682852.

## Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

## Referencias

Adetayo, A., & Runsewe, D. (2019). Synthesis and fabrication of graphene and graphene oxide: A review. *Open journal of composite materials*, 9(02), 207-229.

Baig, N., Kammakakam, I., & Falath, W. (2021). Nanomaterials: A review of synthesis methods, properties, recent progress, and challenges. *Materials Advances*, 2(6), 1821-1871.

Ealia, S. A. M., & Saravanakumar, M. (2017). A review on the classification, characterisation, synthesis of nanoparticles and their application. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 263 (2017) 032019 doi:10.1088/1757-899X/263/3/032019

González-Sierra, N. E., Gómez-Pavón, L. D. C., Pérez-Sánchez, G. F., Luis-Ramos, A., Zaca-Morán, P., Muñoz-Pacheco, J. M., & Chávez-Ramírez, F. (2017). Tapered optical fiber functionalized with palladium nanoparticles by drop casting and laser radiation for H<sub>2</sub> and volatile organic compounds sensing purposes. *Sensors*, 17(9), 2039.

Jeevanandam, J., Barhoum, A., Chan, Y. S., Dufresne, A., & Danquah, M. K. (2018). Review on nanoparticles and nanostructured materials: history, sources, toxicity and regulations. *Beilstein journal of nanotechnology*, 9(1), 1050-1074.

Kolahalam, L. A., Viswanath, I. K., Diwakar, B. S., Govindh, B., Reddy, V., & Murthy, Y. (2019). Review on nanomaterials: Synthesis and applications. *Materials Today: Proceedings*, 18, 2182-2190.

Levy, F. (2016). Film growth and epitaxy: methods.

Morales-Olán, G., Ríos-Corripio, M. A., Hernández-Cázares, A. S., Zaca-Morán, P., Luna-Suárez, S., & Rojas-López, M. (2022). Effect of Chitosan Nanoparticles Incorporating Antioxidants from *Salvia hispanica* L. on the Amaranth Flour Films. *Food Technology and Biotechnology*, 60(1), 52-66.

Naik, S. S., Lee, S. J., Yu, Y., Al-Mohaimed, A. M., Theerthagiri, J., & Choi, M. Y. (2022). Novel approach for the synthesis and recovery of lithium carbonate using a pulsed laser irradiation technique. *Materials Letters*, 308, 131218.

Pillai, S. C., & Ganguly, P. (2021). *2D Materials for Energy Storage and Conversion*. IOP Publishing.

Sharma, G. K., & James, N. R. (2022). Electrospinning: The Technique and Applications. In *Recent Developments in Nanofibers Research*. IntechOpen.

Zaca-Moran, O., Sánchez-Ramírez, J., Herrera-Pérez, J., & Díaz-Reyes, J. (2021). Electrospun polyacrylonitrile nanofibers as graphene oxide quantum dot precursors with improved photoluminescent properties. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 127, 105729.

Zaca-Morán, P., Pastelín, C., Morán, C., Pérez-Sánchez, G., & Chávez, F. (2017). Microcautery based on zinc metallic nanoparticles photodeposited on the core of an optical fiber. *Applied Surface Science*, 392, 492-497.