

# La Química Verde en la nanotecnología

Luis Fernando González Romero, José Luis Alemán Ramírez, Dulce Kristal Becerra Paniagua y Soleyda Torres Arellano

Luis Fernando González Romero es estudiante de Ingeniería en Nanotecnología de la Universidad Politécnica de Chiapas (UPChiapas). Sus líneas de interés están relacionadas con el desarrollo de nanopartículas metálicas empleadas como fotocatalizadores en aplicaciones de biorremediación, producción de hidrógeno y reducción de CO<sub>2</sub>, así como, las tecnologías emergentes de hidrógeno.

José Luis Alemán Ramírez es doctor en Materiales y Sistemas Energéticos Renovables del Instituto de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Energías Renovables de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH), Chiapas. Es posdoc del Instituto de Energías Renovables de la Universidad Nacional Autónoma de México (IER-UNAM). Sus principales líneas de investigación son el desarrollo de biomateriales como catalizadores heterogéneos verdes para la obtención de biocombustibles alternativos (biodiesel) y la elaboración de bioelectrodos para celdas de combustible microbianas sedimentarias.

Dulce Kristal Becerra Paniagua es doctora en Ingeniería en Energía del IER-UNAM. Es investigadora del Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación, en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Sus líneas de investigación están relacionadas a desarrollo de sistemas energéticos renovables, síntesis y caracterización de materiales semiconductores, desarrollo de dispositivos electrónicos, nanotecnología, fotocatalisis y gestión de innovación.

Soleyda Torres Arellano es doctora en Materiales y Sistemas Energéticos Renovables del Instituto de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Energías Renovables de la UNICACH, Chiapas. Es posdoc del IER-UNAM. Su línea principal de investigación es el desarrollo de nanopartículas metálicas para la fotoreducción del CO<sub>2</sub> a biocombustibles de interés industrial (metano, hidrógeno y metanol).

Esta publicación fue revisada por el comité editorial de la Academia de Ciencias de Morelos.

## ¿Qué es la nanotecnología?

La mayoría de nosotros hemos escuchado hablar acerca de la nanotecnología; sin embargo, pocos sabemos a qué se refiere esta palabra o cuál es su importancia. En pocas palabras podemos definir a la nanotecnología como un campo de la ciencia aplicada, que se dedica al control y manipulación de los materiales que tienen una escala de entre 1 a 100 nanómetros (nm). Es decir, todo material fabricado dentro de esta escala que equivale a 70 mil veces menos el grosor de un cabello humano (Hernández et al., 2020). Actualmente, la nanotecnología está siendo empleada en la investigación para el desarrollo de nuevos materiales y en la industria para la fabricación de productos de la vida cotidiana. También, en la elaboración de fármacos para inhibición del crecimiento de microorganismos patógenos, que dete-

rioran nuestra salud y calidad de vida. Actualmente, la nanotecnología está siendo utilizada en la bioenergía para el desarrollo de nanomateriales (nanopartículas) que puedan ser utilizados para la producción de diferentes biocombustibles (por ejemplo; biogás, biodiésel y bioetanol) (Alemán-Ramírez et al., 2023). Así como para procesos fotocatalíticos, como en la reducción del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) para la obtención de productos químicos de valor industrial (por ejemplo; metano, metanol y ácido fórmico, etc.), degradación de contaminantes presentes en el agua y para la producción de hidrógeno (H<sub>2</sub>).

## Breve historia de la nanotecnología

La nanotecnología o nanociencia no es una ciencia nueva, ya que existe desde hace ya medio siglo con el surgimiento de la mecánica cuántica, donde se profundizó sobre el funcionamiento de los elementos que componen al átomo. En 1959 durante el encuentro organizado por la Sociedad Americana de Física (*American Physical Society*), el brillante físico teórico y ganador del premio Nobel de física, Richard Feynman presentó la lectura titulada "There's plenty of room at the bottom" donde introdujo por primera vez, el concepto de la manipulación de la materia a escala atómica.

Sin embargo, el nombre de nanotecnología se dio a conocer hasta el año de 1974 por el Profesor Norio Taniguchi de la Universidad de Ciencias de Tokio, Japón. A través de un artículo publicado por su autoría, bajo el nombre de "Nanotecnología consiste en el procedimiento de separación, consolidación y deformación de materiales átomo por átomo o molécula por molécula". Fue en ese mismo año, que la nanotecnología comenzó a volverse el principal foco de atención por parte de la comunidad científica, y condujo a que muchos de estos científicos optimistas comenzaran a enfocar sus trabajos de investigación bajo el concepto de nanotecnología. A partir de la década de los ochenta, se comenzó con la idea de que de alguna manera se podría tocar a los átomos o a las moléculas. Muchos científicos comenzaron a trabajar apoyados por la teoría del Dr. K. Eric Drexler y consiguieron manipular por primera vez átomos y moléculas. En esa misma década, la nanotecnología presentó una evolución bastante significativa, ya que diversas empresas internacionales y sus laboratorios, como IBM, Bell o el MIT, realizaron diversas aportaciones tecnológicas para visualizar y llevar a cabo la manipulación de los átomos y moléculas. Uno de los descubrimientos más memorables en este ámbito fue el de los profesores Kroto y Smalley, quienes en 1985 realizaron experimentos tratando de replicar un fenómeno que se produce solo en las estrellas. Para su sorpresa, descubrieron una nueva forma de carbono, que hoy en día se conoce como carbono sesenta (C<sub>60</sub>), la cual se caracteriza por ser una molécula muy estable. A esta nueva estructura se le denominó fullereno, en honor al arquitecto Buckminster Fuller. Once años después del descubrimiento del fullereno fue otorgado el Premio Nobel de Química a Kroto y compañeros. En la actualidad, esta molécula tiene relevancia tecnológica y se emplea en diversas áreas, tales

como la industria de la electrónica, farmacéutica, ingeniería biomédica, entre otras de importancia tecnológica.

## La nanotecnología en la actualidad

Las principales potencias mundiales están poniendo sus ojos sobre la nanotecnología debido a sus múltiples aplicaciones tecnológicas y medioambientales. Los países emergentes se están uniendo y organizándose estructural y tecnológicamente, con el objetivo de potencializar y aplicar los desarrollos nanotecnológicos existentes en el interior de sus ciudades y comunidades. Algunas aplicaciones que tiene actualmente la nanotecnología en el ámbito bioenergético son en la conversión de energía por medio de celdas solares, así como en el almacenamiento de energía. Para ello se utilizan nanomateriales capaces de almacenar por su estructura, en forma de supercapacitores, baterías, almacenamiento de hidrógeno y en la catálisis para la producción de biocombustibles alternativos. En el campo ambiental, la nanotecnología es vista como un gran potencial para mejorar la calidad del suelo, agua y del aire. Para este propósito, se están desarrollando materiales absorbentes que tienen la capacidad de retener componentes sólidos y gaseosos sobre su superficie. Como ejemplos, nanoabsorbentes de metales pesados presentes en el agua, membranas nanoensambladas y la fabricación de nanocatalizadores. Esto debido a su fácil fabricación, viabilidad comercial y el bajo costo que estos tienen en su elaboración.

La nanotecnología también ha encontrado su lugar en la agricultura moderna (Lira-Saldívar et al., 2018; Neme et al., 2021), en el manejo postcosecha de diferentes frutas y verduras, en la detección de elementos dañinos sobre la superficie de los alimentos a través de nanosensores, en el procesamiento y conservación de alimentos, embalaje, transporte de componentes bio-activos a lugares específicos y en la elaboración de aditivos. Actualmente, la cooperación en Regulación de Cosméticos Internacional (ICCR) ha involucrado a la nanotecnología en la formulación de diferentes cosméticos, y en el desarrollo de diversos ingredientes insolubles. Estos cosméticos suelen estar constituidos por nanomateriales como el dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>), óxido de zinc (ZnO), oro (Au) y plata (Ag), entre otros. También, la nanotecnología está siendo aplicada en la medicina para la prevención, diagnóstico y en el tratamiento de enfermedades graves como el cáncer. Se han fabricado nano medicamentos capaces de ser inyectados y circular en el torrente sanguíneo con el objetivo de mejorar el diagnóstico de enfermedades e imágenes (resonancia magnética) para la ubicación de tumores cancerígenos. Existen nanomateriales para la fabricación de implantes, nanomateriales para regeneración de heridas (quemaduras), entre muchas otras aplicaciones. Recientemente, la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA por sus siglas en inglés) de Estados Unidos, ha aprobado para su comercialización 51 nanomedicinas y se estima que 77 nano productos se encuentran en fase de ensayos clínicos para su posterior comercialización y aplicación para el tratamiento de diferentes enfermedades.

## Métodos para la síntesis de nanomateriales

La mayoría de los nanomateriales sintetizados actualmente pueden ser obtenidos a partir de tres métodos diferentes. El primero de ellos se caracteriza por el empleo de microorganismos (método biológico), el segundo por utilizar diferentes equipos mecánicos -a este proceso se le conoce como método físico- y finalmente, al tercer y último se le denomina método químico. Tanto los métodos físicos como los métodos químicos se dividen en dos formas, el primero de ellos es conocido como de arriba hacia abajo o "Top-down" (Figura 1). Y el segundo, denominado como de abajo hacia arriba o también llamado "Bottom-up". Estos hacen referencia al proceso de la síntesis para la obtención de los nanomateriales: en el Top-down los nanomateriales son pulverizados hasta lograr obtener un tamaño de partícula o elementos muy diminutos, generalmente se utilizan métodos mecánicos de molienda. En el caso de los métodos de abajo hacia arriba, tanto en estado sólido como en líquido, los nanomateriales son ensamblados mediante combinación química para formar materiales de mayor escala. Para ello, suelen utilizarse equipos y procesos como la evaporación laser, plasma por radiofrecuencia, descomposición termal, entre otros. Sin embargo, se caracterizan por requerir altas temperaturas, altos voltajes, diferentes reactivos químicos para llevar a cabo la síntesis y en ocasiones suelen ser dañinos para la salud y el medio ambiente, además de requerir de altas presiones. En los métodos químicos podemos encontrar mayormente métodos "Bottom-up" tales como; la coprecipitación, método sol-gel, método hidrotermal, sono-químico y el de síntesis asistida por microondas. Estos implican altas temperaturas y presiones, diversos reactivos químicos, solventes, ácidos y sales. Los métodos químicos de manera general se caracterizan por ser generadores de una gran cantidad de residuos químicos, que suelen ser desechados al medio ambiente sin recibir un pretratamiento adecuado, contaminando el subsuelo (mantos acuíferos), lagos y ríos, además de la flora y fauna del lugar donde fueron depurados.

La comunidad científica ha probado que la generación de nanomateriales es mucho más efectiva mediante la síntesis verde que con los métodos tradicionales (métodos químicos), con la ventaja de generar una menor nula producción de residuos, de bajo costo, de fácil acceso y sobre todo de manipular y controlar las diferentes propiedades de los nanomateriales sintetizados por esta

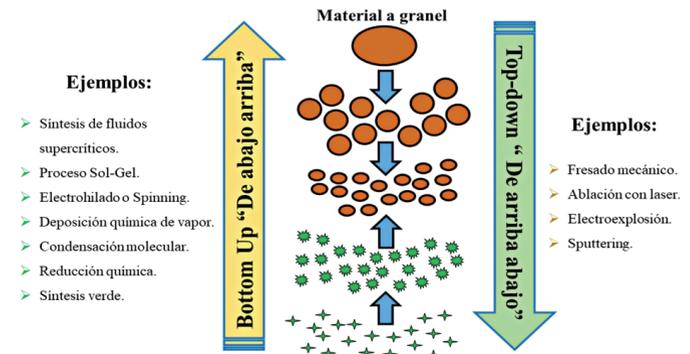


FIGURA 1. MÉTODOS empleados para sintetizar nanomateriales.

## La Química Verde para el desarrollo de nanomateriales

El conocimiento acerca de la síntesis de nanomateriales generado por las comunidades

científicas crece y con ello diferentes formas de sintetizar nanomateriales que sean amigables con el ambiente y con la salud de las personas que sintetizan estos materiales. Como alternativa a los métodos tradicionales surge la síntesis verde con fundamento en la química verde. Los principios de la química verde fueron establecidos al inicio de los años 90's por Anastas y Warner (Anastas & Warner, 1988) con su libro titulado "Química Verde". En este, se publicaron 12 principios de la química verde (Figura 2), los cuales se mencionan a continuación: Economía del átomo, Eficiencia energética, Productos químicos más seguros, Prevención, Reducir derivados, Síntesis química menos peligrosa, Diseño para la degradación, Materias primas renovables, Prevención de la contaminación, Disolventes y auxiliares más seguros, Catálisis y Prevención de accidentes.



FIGURA 2. LOS 12 principios de la química verde descrita por Anastas y Warner (Anastas & Warner, 1988)

La comunidad científica ha probado que la generación de nanomateriales es mucho más efectiva mediante la síntesis verde que con los métodos tradicionales (métodos químicos), con la ventaja de generar una menor nula producción de residuos, de bajo costo, de fácil acceso y sobre todo de manipular y controlar las diferentes propiedades de los nanomateriales sintetizados por esta

también se caracteriza por usar microorganismos (bacterias, virus y hongos) y por aprovechar las diferentes partes que conforman a una planta (hojas, ramas, flores y corteza) y también por utilizar residuos agroindustriales y agrícolas. En la Figura 3, se ilustra el procedimiento de síntesis verde simplificada para el desarrollo de nanomateriales para diversas aplicaciones, que consiste en: 1) recolección de la materia prima, 2) extracción del jugo de la materia prima y 3) mezcla de agentes químicos con agentes naturales, 4) centrifugación, 5) secado y 6) obtención del producto sólido.

Por ejemplo; los extractos líquidos de las diferentes partes de una planta han sido utilizados para llevar a cabo la síntesis de diferentes nanopartículas metálicas como son las nanopartículas de oro (Au), plata (Ag), níquel (Ni), cobalto (Co), zinc (ZnO),



ácidos orgánicos, polifenoles, carotenoides, beta carotenoides, vitaminas y minerales). Por otro lado, la síntesis de nanomateriales a veces incluye el uso de solventes; sin embargo, este no tiene que ser siempre el caso, ya que se puede utilizar en la medida de lo necesario agua para formar nanomateriales, ya que el agua, incluso siendo calentada un poco puede formar nanomateriales.

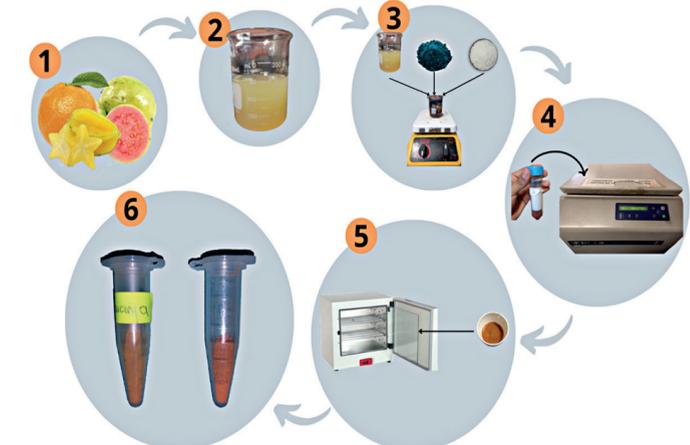


FIGURA 3. DIAGRAMA simplificado para desarrollar nanomateriales a partir de la síntesis verde.

de óxido de cobre (CuO), óxido cuproso (Cu<sub>2</sub>O) y para formar composites a base de cobre, como el Cu/Cu<sub>2</sub>O, respectivamente. Dichas nanopartículas han sido aplicadas en la producción fotocatalítica de hidrógeno (H<sub>2</sub>) y en la reducción de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Una de las últimas propuestas que está en desarrollo en el Laboratorio de Biomateriales del IER-UNAM, es la obtención de nanomateriales de cobre (Cu, Cu<sub>2</sub>O), titanio (TiO<sub>2</sub>) y nanopartículas de hierro magnético (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), a través del residuo de la pulpa de naranja. Lo interesante de esta propuesta, es que la materia prima se recolectó de un negocio de venta de jugos en un mercado de Morelos, lo cual hace reflexionar en la cantidad de residuo de naranjas que se desaprovechan diariamente en la jornada de trabajo de este negocio y de muchos otros similares a lo largo del país, convirtiéndose en una materia prima de alto valor agregado para fabricar diferentes nanopartículas de interés industrial. Optar por esta filosofía de química verde para la creación de productos con valor agregado debe ser el camino que debe tomar la ciencia y la cadena de valor de productos comerciales en México.

## La Química Verde en México

México es un país rico en producción de frutos y plantas, por lo que lo convierte en un generador de residuos agroindustriales procedentes de las diferentes industrias alimentarias y de residuos agrícolas y forestales, los cuales pueden ser aprovechados para desarrollar nanomateriales a partir de la síntesis verde. Afortunadamente, en México ya se trabaja con la filosofía de economía verde y circular para la producción de productos comerciales en el sector industrial y con residuos agroindustriales verdes para la producción de nanomateriales enfocados para aplicaciones tanto ambientales y bioenergéticas a nivel laboratorio. Por ejemplo, la empresa *Power Tad* de México emplea compuestos amigables con el ambiente como la glucosa para sustituir compuestos químicos en la producción de lubricantes de uso industrial. Por otro parte, en 2010 se creó un concurso de empresas verdes en México denominado "Cleantech Challenge México", donde el objetivo es impulsar el desarrollo de la economía verde y circular para crear empresas con esta filosofía. La empresa *Pelet Mx* es reconocida como La Mejor Empresa Verde de México debido a que genera bioenergía a partir de residuos orgánicos. Otras empresas como Biofase, es una empresa mexicana que desarrolla bioplástico obtenido a partir huesos de aguacate (Sierra et al., 2014).

Por el lado académico, en el Instituto de Energías Renovables (IER-UNAM), en Temixco, Morelos, se están llevando a cabo investigaciones sobre el aprovechamiento del residuo agrícola del olote de maíz, del zumo del residuo agroindustrial de la naranja (Becerra-Paniagua et al., 2023) y del residuo de la pulpa del plátano (Torres-Arellano et al., 2021), para fabricar por síntesis verde nanopartículas

de cobre (Cu) y para la fabricación de algunos óxidos metálicos como son el óxido cuproso (Cu<sub>2</sub>O), óxido de hierro (FeO), óxido de cobre (CuO) y hematita (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Estas nanopartículas son fabricadas a partir de diferentes reacciones químicas ocasionadas por compuestos químicos presentes en el extracto líquido (por ejemplo; carbohidratos,

de óxido de cobre (CuO), óxido cuproso (Cu<sub>2</sub>O) y para formar composites a base de cobre, como el Cu/Cu<sub>2</sub>O, respectivamente. Dichas nanopartículas han sido aplicadas en la producción fotocatalítica de hidrógeno (H<sub>2</sub>) y en la reducción de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Una de las últimas propuestas que está en desarrollo en el Laboratorio de Biomateriales del IER-UNAM, es la obtención de nanomateriales de cobre (Cu, Cu<sub>2</sub>O), titanio (TiO<sub>2</sub>) y nanopartículas de hierro magnético (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), a través del residuo de la pulpa de naranja. Lo interesante de esta propuesta, es que la materia prima se recolectó de un negocio de venta de jugos en un mercado de Morelos, lo cual hace reflexionar en la cantidad de residuo de naranjas que se desaprovechan diariamente en la jornada de trabajo de este negocio y de muchos otros similares a lo largo del país, convirtiéndose en una materia prima de alto valor agregado para fabricar diferentes nanopartículas de interés industrial. Optar por esta filosofía de química verde para la creación de productos con valor agregado debe ser el camino que debe tomar la ciencia y la cadena de valor de productos comerciales en México.

## Lectura recomendada y Referencias

Aleman-Ramírez, J. L., Reyes-Vallejo, O., Okoye, P. U., Sanchez-Albore, R., Maldonado-Álvarez, A., & Sebastian, P. J. (2023). *Crystal phase evolution of high temperature annealed Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-calcium oxide catalysts for biodiesel production*. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 17(4), 843-858. <https://doi.org/10.1002/bbb.2478>

Anatas, P., & Warner, J. (1988). *Green Chem Theory and Practice*. Becerra-Paniagua, D. K., Torres-Arellano, S., Martínez-Alonso, C., Luévano-Hipólito, E., & Sebastian, P. J. (2023). *Facile and green synthesis of Cu/Cu<sub>2</sub>O composite for photocatalytic H<sub>2</sub> generation*. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 162, 107485. <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2023.107485>

Hernández, A., Martínez, H., Pérez, M. F., Wuggetzer, J., & Gómez, A. (2020). *La nanotecnología y el universo de sus aplicaciones* | *Academia de Ciencias de Morelos, A.C.* <https://acmor.org/publicaciones/la-nanotecnologia-y-el-universo-de-sus-aplicaciones>

Lira-Saldívar, R. H., Argüello, B. M., Villareal, G. D. L. S., & Reyes, I. V. (2018). *Potencial de la nanotecnología en la agricultura*. *Acta Universitaria*, 28(2), 9-24. <https://doi.org/10.15174/au.2018.1575>

Neme, K., Nafady, A., Uddin, S., & Tola, Y. B. (2021). *Application of nanotechnology in agriculture, postharvest loss reduction and food processing: Food security implication and challenges*. *Heliyon*, 7(12), e08539. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08539>

Sierra, A., Meléndez, L., Ramírez-Monroy, A., & Arroyo, M. (2014). *La química verde y el desarrollo sustentable*. *RIDE Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 5(9), Article 9.

Torres-Arellano, S., Reyes-Vallejo, O., Pantaja Enriquez, J., Aleman-Ramírez, J. L., Huerta-Flores, A. M., Moreira, J., Muñiz, J., Vargas-Estrada, L., & Sebastian, P. J. (2021). *Biosynthesis of cuprous oxide using banana pulp waste extract as reducing agent*. *Fuel*, 285, 119152. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119152>



ESTA PUBLICACIÓN FUE REVISADA POR EL COMITÉ EDITORIAL DE LA ACADEMIA DE CIENCIAS DE MORELOS

Para actividades recientes de la academia y artículos anteriores puede consultar: [www.acmor.org.mx](http://www.acmor.org.mx)  
¿Comentarios y sugerencias?, ¿Preguntas sobre temas científicos? CONTACTANOS: [editorial@acmor.org.mx](mailto:editorial@acmor.org.mx)

Esta columna se prepara y edita semana con semana, en conjunto con investigadores morelenses convencidos del valor del conocimiento científico para el desarrollo social y económico de Morelos. Desde la Academia de Ciencias de Morelos externamos nuestra preocupación por el vacío que genera la extinción de la Secretaría de Innovación, Ciencia y Tecnología dentro del ecosistema de innovación estatal que se debilita sin la participación del Gobierno del Estado.