



Transformando el sargazo en nanopartículas de oro y plata para limpiar el agua



Ciencia al Instante

El sargazo que invade las playas del Caribe mexicano podría convertirse en la solución a la contaminación del agua. Investigadores de la BUAP utilizan esta alga problemática para crear nanopartículas de oro y plata mediante "síntesis verde", un método ecológico que evita químicos tóxicos. Al combinar estas diminutas partículas con biocarbón del mismo sargazo, obtienen un catalizador capaz de transformar contaminantes peligrosos como el 4-nitrofenol en sustancias inofensivas. Esta innovación convierte un desastre ambiental en un material valioso para purificar agua, demostrando cómo la nanotecnología y la economía circular pueden trabajar juntas por un futuro más limpio.

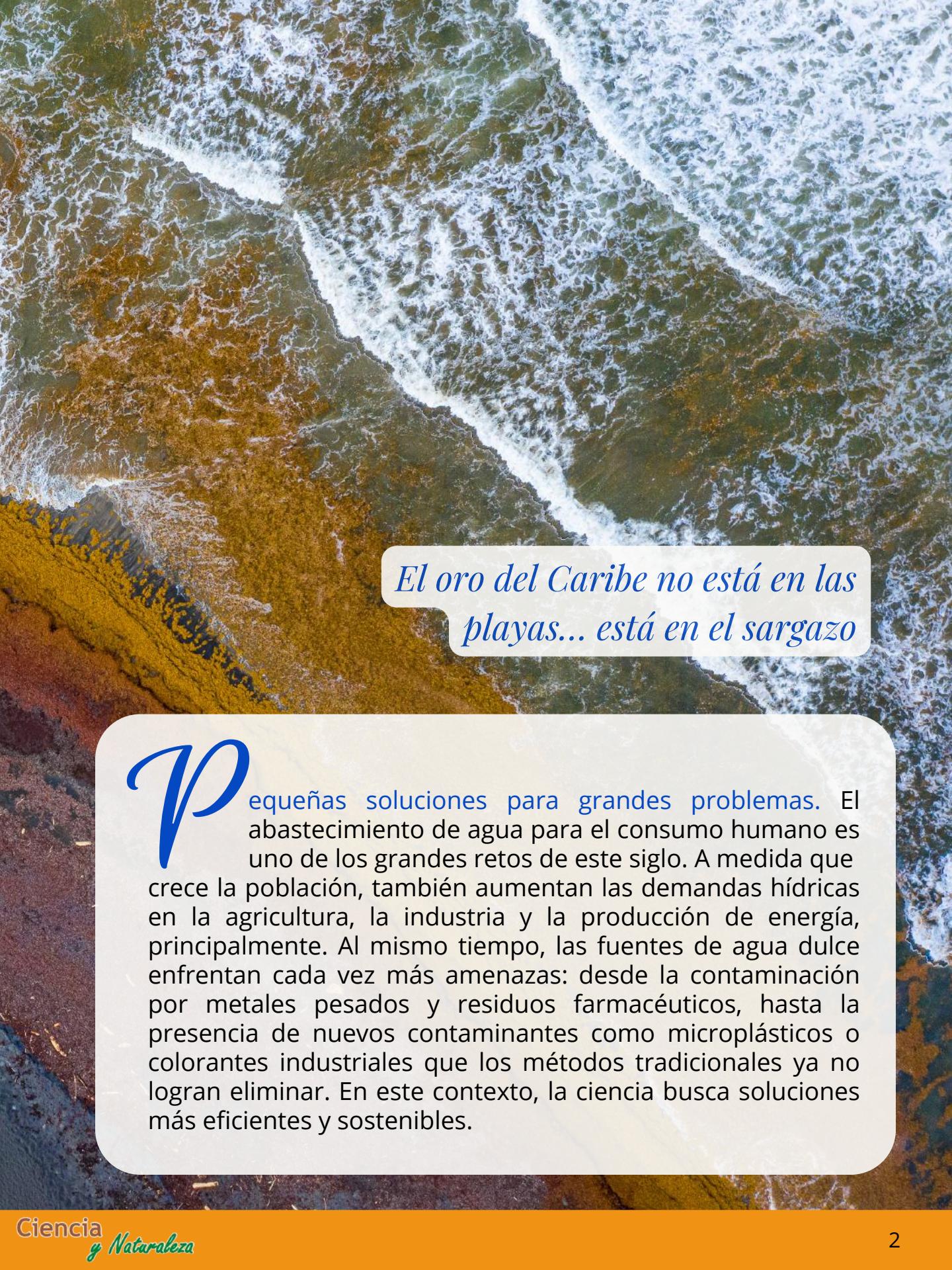
Artículo



Transformando el sargazo en nanopartículas de oro y plata para limpiar el agua

Cómo citar este artículo: Pal M, Ramírez-Moreno JA, Escobar-Morales B. 2025. Transformando el sargazo en nanopartículas de oro y plata para limpiar el agua. Revista Ciencia y Naturaleza (1197).





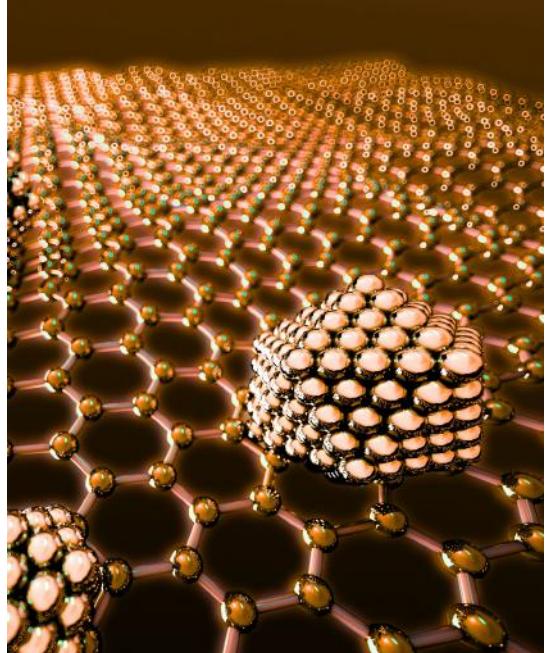
El oro del Caribe no está en las playas... está en el sargazo

Pequeñas soluciones para grandes problemas. El abastecimiento de agua para el consumo humano es uno de los grandes retos de este siglo. A medida que crece la población, también aumentan las demandas hídricas en la agricultura, la industria y la producción de energía, principalmente. Al mismo tiempo, las fuentes de agua dulce enfrentan cada vez más amenazas: desde la contaminación por metales pesados y residuos farmacéuticos, hasta la presencia de nuevos contaminantes como microplásticos o colorantes industriales que los métodos tradicionales ya no logran eliminar. En este contexto, la ciencia busca soluciones más eficientes y sostenibles.



Una de ellas es el uso de nanopartículas metálicas, como las de oro (AuNPs) y plata (AgNPs), que, debido a su pequeño tamaño y propiedades únicas, pueden actuar como catalizadores para descomponer contaminantes tóxicos. Sin embargo, su producción suele implicar procesos costosos y poco ecológicos. Es por eso que te contamos cómo un problema ambiental como el sargazo, esa macroalga que invade masivamente las costas del Caribe mexicano y que genera severos problemas ambientales y económicos, puede convertirse en parte de la solución.

La combinación de ambos materiales da lugar a un catalizador, con gran potencial para degradar compuestos tóxicos presentes en aguas residuales.

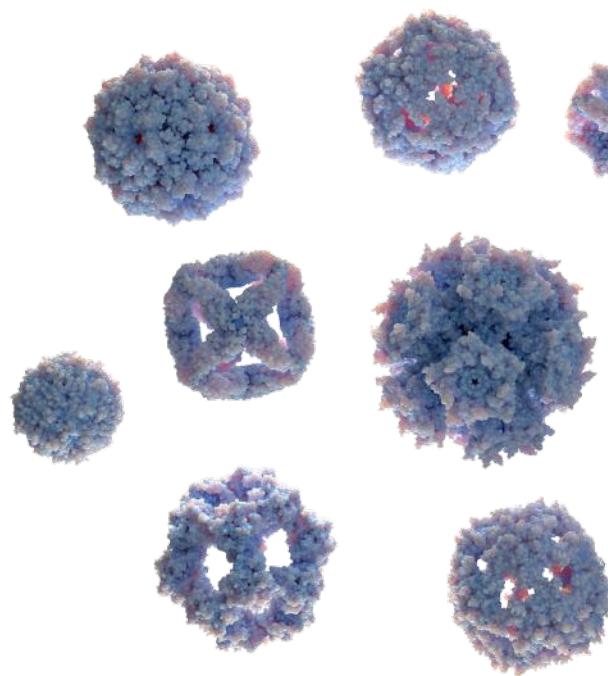


Nanopartículas de oro

En comparación con otras nanopartículas (NPs) metálicas, las NPs de metales nobles (como la plata, el platino y el oro) se han consolidado como piezas clave en el avance de la nanotecnología, atrayendo cada vez más la atención de la comunidad científica.



Entre ellas, las nanopartículas de oro (AuNPs) destacan por su notable estabilidad y por la posibilidad de obtenerlas en diversas formas y estructuras, como nanoesferas, nanobarros, nanocubos, nanoramas, nanoflores, nanocapas, nanocables, nanojaulas, entre otras. Esta versatilidad en su forma les confiere propiedades únicas y sorprendentes que se traducen en una diversa variedad de usos. Una de sus características más fascinantes se relaciona con su capacidad para interactuar con la luz mediante un fenómeno conocido como resonancia de plasmón superficial (RPS).



Es decir, las AuNPs son capaces de responder (vibrar) al entrar en contacto con distintas longitudes de onda de luz, dependiendo de su tamaño y forma, que les permite aplicarse en áreas como la administración de fármacos, el diagnóstico por imágenes, detección de enfermedades, entre otras.



Pero su impacto no se limita al campo de la medicina, también destacan en otras áreas importantes como la catálisis. Por ejemplo, en reacciones que permiten convertir contaminantes en sustancias menos agresivas con el medio ambiente y contribuyen a la descontaminación del agua, uno de los grandes retos ambientales actuales.



Debido a la combinación de estabilidad, reactividad y versatilidad, las AuNPs se han convertido en verdaderas aliadas de la ciencia moderna, ofreciendo soluciones innovadoras que conectan la salud, la energía y el medio ambiente.

El oro del futuro no se extrae de minas, se sintetiza a escala nanométrica



Nanopartículas de plata

La plata es un metal conocido desde la antigüedad por su uso en joyería, utensilios, monedas y objetos decorativos. Sin embargo, cuando este metal se lleva a una escala nanométrica, es decir, cuando sus partículas miden menos de 100 nanómetros, sus propiedades cambian de forma sorprendente. En las últimas dos décadas, las nanopartículas de plata (AgNPs) han despertado gran interés científico debido a sus propiedades únicas, especialmente por su actividad antimicrobiana.



Estas nanopartículas tienen la capacidad de detener la proliferación de bacterias, virus y hongos, por lo que hoy en día se emplean en diversas aplicaciones: desde textiles y materiales de empaque hasta recubrimientos para dispositivos médicos, e incluso en filtros de purificación de agua.



Las AgNPs pueden obtenerse de forma convencional, usando productos químicos o métodos físicos sofisticados, aunque en la actualidad se promueven alternativas más sostenibles como la síntesis verde, que utiliza extractos naturales de plantas o algas que actúan como agentes reductores y estabilizantes. Este enfoque evita el uso de productos tóxicos, reduciendo el impacto ambiental y los riesgos para la salud.



El tamaño de las AgNPs es un parámetro crítico porque determina diversas propiedades físicas, químicas y biológicas. La variación en el tamaño puede modificar su comportamiento óptico, su capacidad de absorción y emisión de luz, su actividad catalítica o su eficacia antimicrobiana.

Por ejemplo, las AgNPs más pequeñas tienden a aglomerarse con más facilidad, lo que puede disminuir su estabilidad y rendimiento. Por este motivo, es de fundamental importancia controlar la dispersión y el tamaño para obtener AgNPs estables, funcionales y con el máximo aprovechamiento para cada aplicación específica.

Síntesis verde

En los últimos años se ha sugerido que el enfoque de la síntesis verde es un método más adecuado que los métodos químicos y físicos tradicionales para sintetizar NPs, debido principalmente a su capacidad para disminuir el uso de agentes tóxicos y minimizar los impactos ambientales.

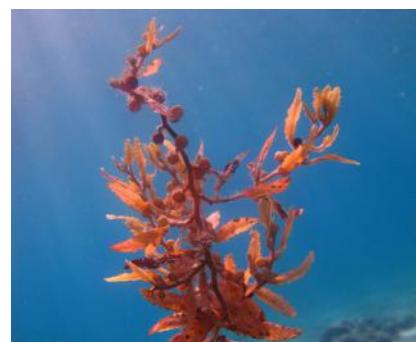


Este enfoque ha ganado gran relevancia en todo el mundo porque es considerado una técnica respetuosa con el medio ambiente que aprovecha el potencial de organismos o compuestos naturales como plantas, extractos de algas, microorganismos (levaduras, hongos, bacterias) o incluso enzimas.

Además, tiene varias ventajas sobre los métodos de síntesis convencionales, incluida la de ser económicamente viable, requiere un menor consumo energético debido a condiciones de funcionamiento menos complejas (como baja presión o temperatura) y es relativamente fácil de aplicar a procesos industriales.

Entre las entidades biológicas más utilizadas para la síntesis verde de AgNPs, es probable que las plantas y las algas sean los candidatos más prometedores para la biosíntesis debido a su abundancia, diversidad y facilidad de disponibilidad. Un ejemplo representativo de la síntesis verde es el uso del sargazo (*Sargassum spp.*), que ha demostrado una notable capacidad como agente reductor y estabilizante en la obtención de nanopartículas metálicas, particularmente de oro (Au) y plata (Ag).

Debido a su bajo impacto ambiental, su versatilidad y su potencial para disminuir los costos de producción, este enfoque se consolida como una estrategia prometedora para el desarrollo de nanomateriales funcionales con aplicaciones en campos como la medicina, la energía y, especialmente, el tratamiento de aguas contaminadas.



La Figura 1 muestra un esquema ilustrativo del proceso mediante el cual los compuestos naturales presentes en el sargazo actúan simultáneamente como agentes reductores y estabilizantes durante la formación de nanopartículas de plata y oro.



Figura 1 Síntesis verde de AgNPs y AuNPs obtenidos a partir de extractos del *Sargassum spp.*



Biocarbón a partir del sargazo

Aunque tradicionalmente el biocarbón (BC) se ha producido a partir de residuos agrícolas o forestales, las algas marinas se están abriendo camino como una alternativa prometedora y sostenible. Su gran ventaja radica en que crecen rápidamente, mucho más que muchas plantas terrestres, y no requieren suelos fértiles ni grandes cantidades de agua dulce para desarrollarse.

Además, pueden cultivarse en ambientes marinos o costeros, lo que las convierte en una fuente de biomasa abundante y subutilizada. Las algas, tanto microalgas como macroalgas (*como el Sargassum spp.*), contienen niveles significativos de nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio. Al someter esta biomasa a un proceso de pirólisis (una descomposición térmica en ausencia de oxígeno), se obtiene biocarbón.



Una de las propiedades más importantes del biocarbón es su alta área superficial, un concepto que, aunque suene técnico, puede entenderse con un ejemplo sencillo. Imagina una esponja: aunque a simple vista parece pequeña, en su interior tiene muchos poros y cavidades. Si pudiéramos extender toda esa superficie interna (pared por pared, poro por poro) su tamaño total sería muchísimo mayor que el que se observa por fuera.



Lo mismo ocurre con el biocarbón: aunque es un sólido aparentemente compacto, está lleno de diminutos poros y canales internos que multiplican su superficie de contacto. Esta “superficie escondida” es muy importante porque es donde ocurren la mayoría de las reacciones químicas o la captura de contaminantes.

Cuanto mayor es el área superficial, más espacio hay para que las nanopartículas se adhieran, para que los contaminantes se adsorban o para que ocurran procesos catalíticos. Por eso, materiales con alta área superficial (como el biocarbón obtenido a partir del sargazo) son tan valiosos en aplicaciones como el tratamiento de aguas, la catálisis o la remediación ambiental. En la Figura 2 se muestra la ruta de síntesis del biocarbón obtenido a partir de *Sargassum spp.*, así como su comparación en términos de porosidad con otros materiales comúnmente utilizados.



Por si fuera poco, algunas especies de algas y plantas acuáticas tienen la capacidad natural de capturar metales pesados y otros contaminantes del agua. Además, el biocarbón derivado de algas puede presentar propiedades únicas (como una alta porosidad y una superficie química activa) que lo hacen ideal como soporte para catalizadores.

Entre las especies más estudiadas se encuentra el sargazo, una macroalga parda que ha generado enormes problemas en las costas del Caribe. Convertir este residuo marino en biocarbón no solo ayuda a reducir su impacto ambiental, sino que abre la puerta a su uso como material funcional de alto valor añadido, aportando así a una economía más circular y sostenible.



Sargazo, recurso pesquero

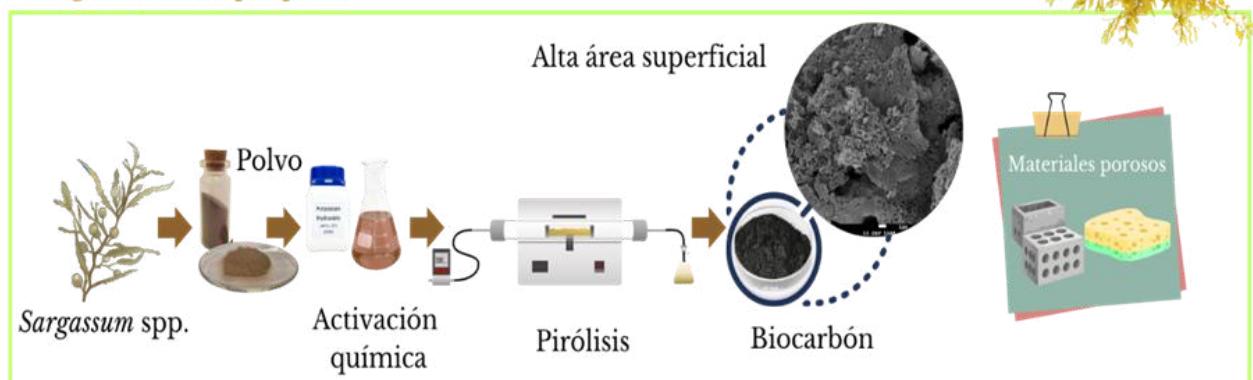
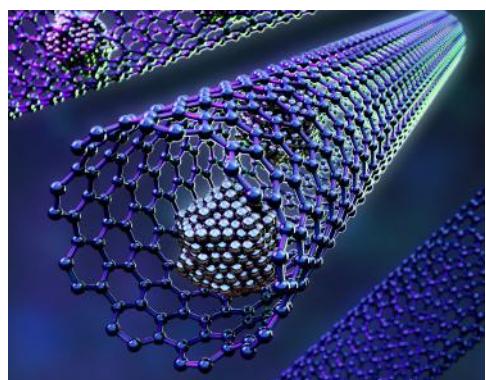


Figura 2 Esquema general del aprovechamiento del *Sargassum spp.* como recurso pesquero para la obtención de materiales porosos a base de carbono mediante procesos de activación y pirólisis.



Nanopartículas y biocarbón

Una forma innovadora de potenciar las propiedades del biocarbón (BC) es utilizarlo como soporte para nanopartículas metálicas, creando así un material compuesto que combina lo mejor de ambos materiales. Este tipo de sistemas, conocidos como compósitos metal-BC, tienen aplicaciones muy prometedoras en campos como el tratamiento de aguas contaminadas, la remediación ambiental y la catálisis.



El secreto está en la interacción entre las nanopartículas metálicas y la superficie del biocarbón. Para lograr una buena unión entre ambos materiales, el biocarbón debe contar con ciertas características clave, como una estructura porosa, una gran área superficial y la presencia de grupos funcionales, es decir, sitios químicos activos en su superficie.

Estos grupos funcionales —como los que contienen oxígeno o nitrógeno— actúan como “ganchos o sitios de anclaje” que ayudan a fijar las nanopartículas, evitando que se agrupen o se desprendan fácilmente. Además, otros factores como el pH, la temperatura, la humedad o el tamaño y la forma de las nanopartículas también pueden influir en su distribución y estabilidad sobre el biocarbón.

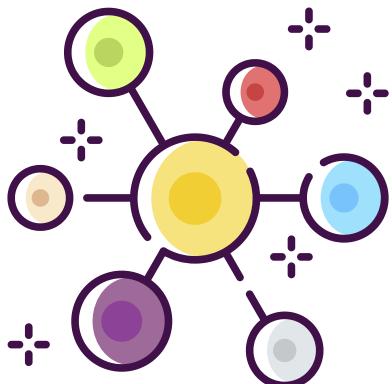




En muchos casos, se busca que las nanopartículas se formen directamente sobre el soporte de biocarbón mediante una síntesis “*in situ*”, lo que mejora su adherencia y evita que se aglomeren.

Reducción de contaminantes como el 4-nitrofenol

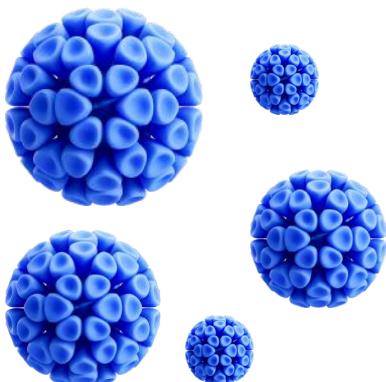
Una de las aplicaciones más interesantes del catalizador formado por nanopartículas metálicas de Au o Ag, y el biocarbón es su uso en la reducción de contaminantes orgánicos, como el 4-nitrofenol (4-NF). Esta sustancia es un compuesto tóxico y persistente que puede encontrarse en aguas residuales provenientes de la industria farmacéutica, textil y de pesticidas.



Para volverlo menos dañino, los científicos buscan transformarlo en una molécula más inofensiva: el 4-aminofenol (4-AF), que incluso tiene aplicaciones farmacológicas. Esta transformación se logra mediante una reacción química conocida como reducción, en la que el grupo nitro ($-NO_2$) se convierte en un grupo amino ($-NH_2$).

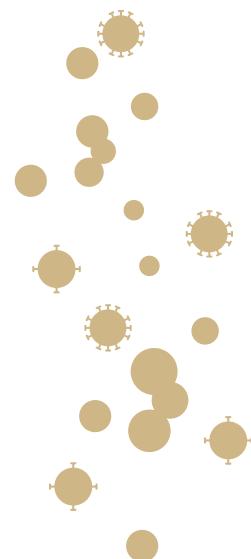
Aunque esta reacción es posible desde el punto de vista energético, no ocurre fácilmente por sí sola, ya que las moléculas involucradas se repelen entre sí por tener cargas similares. Por eso, se requiere de un catalizador que acelere el proceso y facilite la transferencia de electrones.

Aquí es donde entran las nanopartículas metálicas, como las de oro o plata, que actúan como pequeñas “plataformas” donde la reacción puede ocurrir más eficientemente. Al ser de tamaño nanométrico, estas partículas ofrecen una gran cantidad de sitios activos gracias a su alta relación área superficial/volumen.



Esto significa que, aunque son muy pequeñas, tienen mucho espacio para interactuar con las moléculas contaminantes. Además, cuando estas nanopartículas son soportadas sobre biocarbón, no solo se evita que se agrupen (lo cual reduciría su eficacia), sino que también se facilita su recuperación y reutilización tras la reacción.

En este proceso, el agente reductor utilizado es generalmente el borohidruro de sodio (NaBH_4), una sustancia que libera hidrógeno activo. Las nanopartículas catalíticas actúan como intermediarias: reciben los electrones del NaBH_4 y los transfieren al 4-nitrofenol, logrando así su conversión en 4-aminofenol y liberando agua como subproducto. Lo más interesante es que el catalizador no se consume en el proceso, por lo que puede utilizarse varias veces. En la Figura 3 se muestra una representación esquemática del proceso de síntesis del compósito metal-biocarbón derivado del *Sargassum spp.* y su aplicación en la reducción catalítica del 4-nitrofenol (4-NF) a 4-aminofenol (4-AF).





Las nanopartículas metálicas (AuNPs o AgNPs) se anclan sobre la superficie del biocarbón mediante grupos funcionales, generando un material eficiente, reutilizable y sostenible para la remediación ambiental. Gracias a esta tecnología, se pueden remover contaminantes orgánicos de manera más eficiente, selectiva y sostenible, aprovechando materiales de desecho como el sargazo y principios de química verde y economía circular.

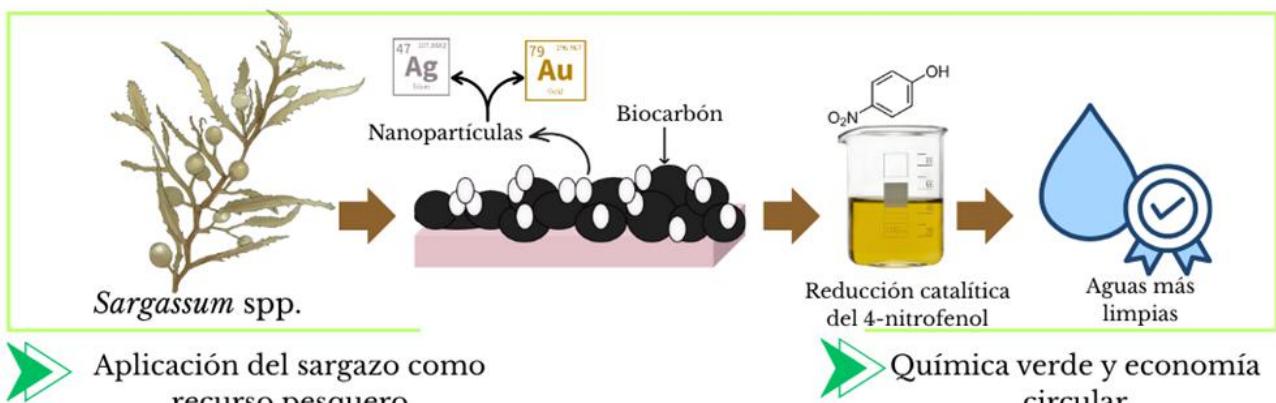


Figura 3 Compósito metal-biocarbón derivado del *Sargassum spp.* y su aplicación en la reducción de contaminantes orgánicos, como el 4-nitrofenol (4-NF).

Innovación científica desde la BUAP

La Dra. Mou Pal, forma parte del Cuerpo académico "Materiales Avanzados" del Instituto de Física de la BUAP. El grupo de trabajo desarrolla investigación en el campo de la nanociencia aplicada a la energía limpia y la remediación ambiental, con especial énfasis en la síntesis verde de nanopartículas metálicas y en el diseño de materiales funcionales sostenibles.



En los últimos años, ha impulsado una línea innovadora basada en la obtención ecológica de nanopartículas de oro (AuNPs) y plata (AgNPs) utilizando extractos naturales del *Sargassum spp*. Este enfoque aprovecha los compuestos bioactivos del sargazo —como polifenoles, flavonoides y proteínas— como agentes reductores y estabilizantes naturales, eliminando la necesidad de reactivos químicos tóxicos. El resultado son nanopartículas metálicas biocompatibles y altamente activas, con aplicaciones en catálisis verde, tratamiento de aguas contaminadas y reducción de compuestos orgánicos tóxicos, como el 4-nitrofenol.

Paralelamente, la Dra. Pal ha contribuido al desarrollo de películas delgadas semiconductoras y nanocompósitos basados en metal-óxidos metálicos para dispositivos fotovoltaicos, así como a la modelación y simulación numérica de sus propiedades estructurales, ópticas y eléctricas. Su trabajo combina la ciencia de materiales con los principios de la química sustentable y la economía circular, transformando residuos marinos en nanomateriales de alto valor agregado con impacto positivo en el medio ambiente. 



El futuro no se mide en años, se mide en nanómetros

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo financiero recibido a través del proyecto BUAP-PV Grupal 2025 (ID 00336), que hizo posible el desarrollo de esta investigación.

Crédito de imágenes en orden de aparición: Getty Images (GI), JR (JR), Science Photo Library(SPL), oksanavectorart, NunDigital, Juan José Napurí Guevara, NunDigital, ninjaDesign(nD), Iryna Kaluikina, Lana Molly Resources, Getty Images Signature(GIS), pixabay, Made by Jiro, Twemoji, Pexels(Pex), La Gise Ilustra, Canva Creative Studio, Изображения пользователя Татьяна Чекашкина, AZ Elements, Tinttrex, pajarosvolandphotos, Trendify, Jrprrr, Bimbel Rumah Kita, 3dmania, Patricia Botezatu's Images, Tinttrex. Los autores utilizaron ChatGPT y declaran que ningún párrafo ha sido generado completamente o con más del 50% de sus palabras con esta herramienta de AI.

Para Consulta

- Zhou M, Yin J, Zhao X, et al. 2020. Green synthesis of gold nanoparticles using *Sargassum carpophyllum* extract and its application in visual detection of melamine. *Colloids and Surfaces A* 603: 125293.
- Rosas-Medellín D, Pérez-Salcedo KY, Morales-Acosta D, et al. 2021. Green synthesis of Pt nanoparticles and their application in the oxygen reduction reaction. *Journal of Materials Research* 36: 4131–4140.
- Cardoso-Avila PE, Patakfalvi R, Rodríguez-Pedroza C, et al. 2021. One-pot green synthesis of gold and silver nanoparticles using: *Rosa canina L.* extract. *RSC Adv* 11:14624–14631.

Dr. David A. Paz García
Editor en Jefe Revista CyN

Diseño de publicación: Sofía Paz



Mou Pal

Profesora investigadora adscrita al Instituto de Física "Ing. Luis Rivera Terrazas", Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Su línea de investigación se centra en la nanotecnología aplicada al desarrollo de celdas solares y al tratamiento de aguas residuales, así como en el diseño y la fabricación de nanopartículas metálicas mediante síntesis verde.

contacto: mou@ifuap.buap.mx



Jeshua Alejandro Ramírez Moreno

Instituto de Física "Ing. Luis Rivera Terrazas". Licenciado en mecatrónica y maestro en ciencias (con especialidad en materiales) por la BUAP. Actualmente estudiante de doctorado con una tesis enfocada en la síntesis de carbonos provenientes de diferentes fuentes para su aplicación en baterías de ión sodio.

contacto: Rm224570406@alm.buap.mx



Beatriz Escobar Morales

Investigadora por México adscrita al CICY. Sus áreas de interés son el desarrollo de materiales de carbono obtenidos de la biomasa y síntesis verde de nanopartículas metálicas a partir de extractos naturales para aplicaciones en la generación de energía, así como el desarrollo de prototipos en tecnología del hidrógeno.

contacto: beatriz.escobar@cicy.mx