

Podemos hacer ciencia con algas: Desde nanomateriales a nanobiotecnología

Ariana A. Arteaga Castrejón, Sanghamitra Khandual y Vivechana Agarwal

Dra. Ariana Adelhy Arteaga Castrejón realizó el Doctorado en el Centro de Investigación en Biotecnología de la UAEMor. Actualmente se encuentra desarrollando una estancia posdoctoral en la Unidad de Biotecnología Industrial del Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ) en colaboración con laboratorio de Nanomateriales en el Centro de Investigaciones en Ingeniería y Ciencias Aplicadas (CIICAP), en donde investiga sobre el encapsulamiento de carotenoides extraídos de algas sobre sílica porosa, para mejorar su actividad antioxidante e incrementar su estabilidad.

Dra. Sanghamitra Khandual, es doctora en Botánica y actualmente es Investigadora Titular-A en el CIATEJ, en la unidad de Biotecnología Industrial. Sus principales líneas de interés son desarrollo de biocombustibles y otros productos de valor agregado a partir de microalgas, para aplicaciones industriales como biocombustibles, ingredientes funcionales del sector alimenticio, colorantes naturales, alimentos para peces y proteínas unicelulares.

La Dra. Vivechana Agarwal, actualmente es investigadora de tiempo completo en CIICAP de la UAEMor. Su principal línea de investigación es el desarrollo de nanomateriales base silicio, carbono y metales nobles para su aplicación como sensores ópticos y remediación ambiental.

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

Las algas son las principales productoras de oxígeno (O₂) en el planeta, y su eficiencia para producir oxígeno es sorprendente. A través de la fotosíntesis, producen y aportan cerca del 50% de O₂, ayudando a aminorar las emisiones de dióxido de carbono (CO₂): ¡Las algas dan vida y en los últimos años se han convertido en una novedosa y valiosa herramienta en diferentes campos, como biotecnología y nanotecnología!

Las algas se pueden encontrar tanto en agua salada como en agua dulce, y constituyen un grupo caracterizado por una gran variedad de especies extendidas a lo largo del planeta. Son capaces de crecer en condiciones extremas de salinidad y temperatura, y con muy bajas concentraciones de nutrientes. Las algas suelen duplicar su biomasa hasta 10 veces más rápido que las plantas superiores; sin embargo, su biomasa total viene siendo una décima parte de la biomasa total de las plantas (1).

Existen más de 40,000 especies de algas conocidas en el mundo, las cuales se han clasificado en *macroalgas* y *microalgas*. Las primeras se observan a simple vista, ya que algunas veces pueden alcanzar longitudes impresionantes, de más de 60 metros. En cambio, para observar a las microalgas necesitamos de un microscopio, pues son más pequeñas que un grano de arena (entre 2 y hasta 200 micrómetros, μm).

De manera natural, las algas son parte de la base de la cadena trófica, lo que las hace indispensables para la supervivencia de cientos de especies de invertebrados, como crustáceos y moluscos, y de vertebrados acuáticos, como peces (Figura 1). Desde hace muchos siglos, las algas han sido utilizadas en la elaboración de alimentos, ya que son ricas en vitaminas (A, E, B₁, B₁₂); minerales (potasio, sodio, magnesio, calcio y en menores cantidades cobre, manganeso y zinc); proteínas y aminoácidos esenciales, lípidos y ácidos grasos como ácido eicosapentaenoico (EPA), ácido palmítico, ácido araquidónico; e incluso algunos glucolípidos, fosfolípi-

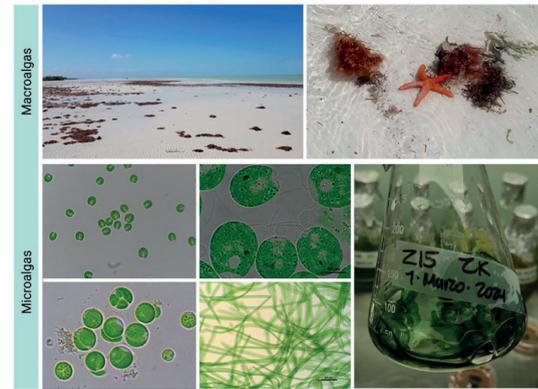


FIGURA 1. DIFERENTES especies de algas (macro y microscópicas), responsables de la producción de O₂ y la alimentación de miles de especies acuáticas y terrestres.

dos y carbohidratos (mono, oligo y polisacáridos) que son una fuente de energía indispensables para el cuerpo humano. También son ricas en pigmentos como los xantofilas y carotenos, que tienen colores que van del rojo al amarillo y son los responsables de absorber la energía de la luz solar para pasarla a la clorofila, jugando un rol importante en procesos fotosintéticos. Además, gracias a que son productoras de una gran cantidad de *biocompuestos*, son utilizadas a gran escala para la elaboración de medicamentos, e incluso diferentes estudios respaldan su uso como una fuente alternativa para la producción de biocombustible. Por todo lo anterior, no es de extrañarse que otros campos como la nanobiotecnología las haya elegido perfectas candidatas en la producción de nanopartículas.

Esta es una historia de "Algas"; de cómo han contribuido a la vida a través de la historia y de cómo pasaron de ser consideradas plaga y desechos de ríos, lagos y mares a ser las protagonistas en los laboratorios nanobiotecnológicos.

Las algas en la historia de la Tierra

La mayoría de las personas cuando escuchamos la palabra "Algas" pensamos en la plaga que invade lagos y playas; en la *mareja roja* que "envenena mariscos"; en los problemas que ha traído el sargazo a las playas del Caribe mexicano; o en lo costoso que es limpiar el agua de una piscina invadida por algas. Sin embargo, más allá de ser consideradas un problema, ¡las algas son nuestras aliadas! Desde el pasado hasta la actualidad, las algas han sido responsables de sostener la vida en nuestro planeta. ¡Increíble! Hace aproximadamente 3.5 millones de años aparecieron las primeras formas de vida procariontas (1), las *algas verdeazules*,

con sólo unos micrómetros de diámetro, que fueron capaces de realizar la fotosíntesis mediada por un pigmento llamado clorofila a. Así, las algas verdeazules dieron lugar a la acumulación de O₂ en la tierra y con ello marcaron un cambio trascendental en la historia de la evolución: gracias a ellas existen todas las demás formas de vida al permitir la evolución a células eucariotas (las que sí tienen un núcleo). Existe la teoría de que la acumulación de cianobacterias, algas verdes y diatomeas (algas unicelulares) que formaban el fitoplancton (un conjunto de organismos acuáticos con capacidad de realizar fotosíntesis) de la era mesozoica fue lo que permitió que se formara la mayor parte de reservas de petróleo conocidas hoy en día. Así que no solo nos dieron el oxígeno que respiramos, sino que también nos dieron el combustible que utilizamos (2). Además, son consideradas como una fuente de nutrientes y han sido utilizadas en la preparación de alimentos desde hace siglos. La literatura china reporta su uso desde hace 2,500 años, y es el ingrediente esencial en el sushi japonés y algunos otros platos de la gastronomía oriental en general. En los últimos años *Spirulina platensis*, una microalga que se puede adquirir en tabletas o cápsulas ha recibido un gran interés gracias a su valor nutricional tanto en la alimentación de peces de cultivo, como para la de humanos.

Pasado, presente y futuro... claro que después de todo, no es de extrañarse que un futuro no muy lejano obtendremos combustibles de

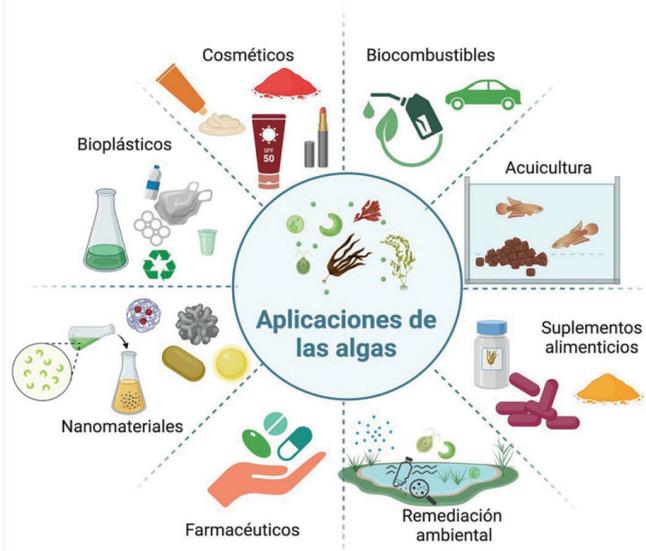


FIGURA 2. ALGUNAS aplicaciones de las algas en la industria y la biotecnología.

tercera generación (3) y alimentos a partir de las algas. Podemos estar seguros de que las algas estarán presentes por mucho tiempo más en nuestra historia.

Las algas: la industria y la biotecnología

Como ya se ha mencionado, las algas forman parte de la base de nuestra cadena alimentaria, puesto que son fundamentales en la nutrición de varias especies marinas. Las algas son una fuente de vitaminas, minerales, aminoácidos esenciales, proteínas, carbohidratos, ácidos grasos, compuestos bioactivos y pigmentos antioxidantes como los carotenoides (4); por lo que la industria alimentaria ha desarrollado complementos alimenticios a base de algas y sus componentes. Gracias a sus propiedades terapéuticas, el uso y aplicación de las algas se ha extendido a otros campos como la farmacéutica, que desde hace décadas se ha esforzado en la elaboración de productos medicinales con potencial anticancerígeno, antibacteriano, antiinflamatorio, antioxidante, antiviral, entre otros. También son utilizadas en la elaboración de cosméticos enfocados al cuidado de la piel (antienvjecimiento, rejuvenecedores y productos de protección solar). En consecuencia, el uso de las algas en la biotecnología ha ido

pueden ser utilizados en el diagnóstico médico en la detección de enfermedades y en la detección de contaminantes como los metales pesados (Figura 3).

Por otro lado, las algas han sido utilizadas como bioindicadores de contaminación que, al combinarse con algunos NMs, incrementan su sensibilidad, convirtiéndolos en biomarcadores de corto plazo. Otra estrategia utilizada es la *nanocapsulación de biocompuestos obtenidos de algas*, para brindarles mayor estabilidad/biodisponibilidad, o para la entrega y liberación controlada de estos compuestos en el organismo. Sin embargo, las algas en la nanobiotecnología son utilizadas principalmente en la síntesis de *nanopartículas* (NPs) y algunos otros NMs con propiedades fisicoquímicas asombrosas, ayudando a resolver varios problemas en diversos campos.

Se han descrito varias técnicas de síntesis de NPs, las cuales se dividen en dos clases: las "Top-down o descendente", a partir de estructuras grandes se obtienen fragmentos de tamaño nanométrico; y las "Bottom-up o ascendente" en donde, al contrario de la técnica anterior, componentes de tamaño molecular son ensamblados mediante algún proceso, físico, químico o biológico. Entre los métodos incluidos en ambas clases el más importante para la nanobiotecnología es la síntesis verde, en el cual, con la ayuda de una fuente biológica como plantas, hongos, levaduras, bacterias, virus y es-

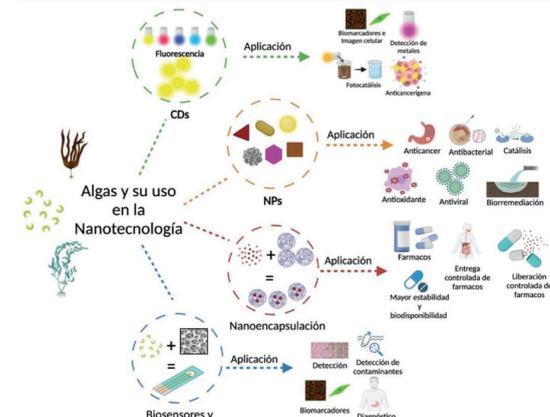


FIGURA 3. APROVECHAMIENTO de las algas por la nanobiotecnología y su aplicación en los diferentes campos.

Aprovechamiento de las algas por la nanobiotecnología

La nanotecnología es la encargada del estudio, diseño, fabricación y caracterización de materiales a nanoescala o *nanomateriales* (NMs), es decir, cuyas dimensiones van de 1-100 nm (un nanómetro es la milonésima parte de un milímetro). En los últimos años la nanotecnología ha ganado un gran interés, y esta ha aprovechado al máximo el potencial de las algas y sus derivados. Las algas se pueden biofuncionalizar con NMs, los cuales actúan como un traductor de señales, incrementando la respuesta o afinidad de las algas a estímulos externos o incluso algunas moléculas. Estos *biosensores*

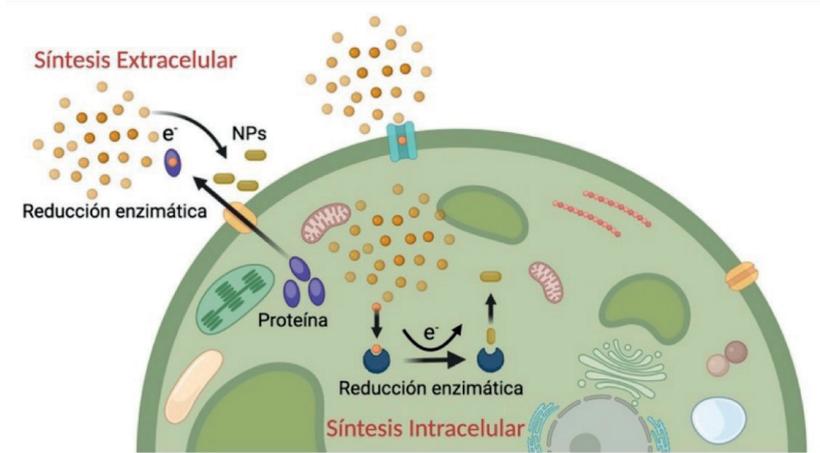


FIGURA 4. MECANISMOS de síntesis extra e intracelular de NPs a partir de algas.

pecialmente las algas, se sintetizan NPs. Las NPs derivadas de algas y obtenidas por síntesis verde poseen características fisicoquímicas y propiedades nuevas y frecuentemente mejores en comparación con el material a granel. Además, estas NPs suelen ser menos tóxicas, son biocompatibles, tienen bajo costo y son más seguras, sostenibles y ecológicas por ser obtenidas mediante una síntesis verde (5).

Las microalgas en el laboratorio: Biofábricas de nanopartículas

Las NPs son de gran interés industrial y nanobiotecnológico debido a sus fascinantes propiedades y a las múltiples aplicaciones que pueden tener. Como se ha mencionado, las algas (tanto micro como macro) tienen la maravillosa habilidad de acumular metales pesados y la capacidad de transformarlos en NPs,

mediante procesos de síntesis verde, de manera descendente. A su vez, existen diferentes mecanismos para sintetizarlas: de forma *intracelular*, mediante procesos que se llevan a cabo en el interior de la célula algal utilizando su poderosa maquinaria de proteínas y enzimas. Estos son los responsables de reducir a un *precursor* metálico o no metálico para finalmente dar lugar a las NPs. Por otro lado, existe la *síntesis extracelular*, en donde la maquinaria es obtenida mediante el rompimiento de la biomasa y empleando el sobrenadante como agente reductor del precursor (Figura 4). Las NPs obtenidas por síntesis verde a partir de algas, pueden tener forma esférica, hexagonal, cúbica, triangular, entre otras, y presentan propiedades ópticas y fisicoquímicas distintas al material precursor, algunas con mayor estabilidad y con mayor potencial de tener una aplicación nueva (6).

Conclusiones
Las algas, además de ser responsables de producir la mayor parte del O₂ que respiramos y de sostener la vida en el planeta desde hace millones de años, también son una valiosa herramienta en el laboratorio. Les debemos gran parte de la historia de nuestro pasado, y posiblemente de nuestro futuro. En los próximos años, se espera una producción rentable de biocombustibles de tercera generación a base de algas.

Asimismo, la síntesis de NMs derivados de microalgas resulta ser amigable con el medio ambiente y económicamente viable, por lo que existe mucha investigación y esfuerzo centrado en el desarrollo de nuevas estrategias para producir NPs con mejores características y con múltiples aplicaciones. Esto es fundamental en el campo de la nanotecnología y su contribución en resolver varios de los problemas de la actualidad. En general, la nanobiotecnología que utiliza algas en la síntesis de NMs tiene un enorme potencial en distintos sectores. Por todo lo anterior, se necesita más investigación multidisciplinaria en este novedoso campo.

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.

BIBLIOGRAFÍA

- Chapman RL. Algae: The world's most important "plants"-an introduction. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. 2013;18(1): 5-12. <https://doi.org/10.1007/s11027-010-9255-9>
- Armbrust EV. The life of diatoms in the world's oceans. *Nature* 459, 185-192 (2009). <https://doi.org/10.1038/nature08057>
- Mahmood T, Hussain N, Shahbaz A, Mulla SI, Iqbal HMN, Bilal M. Sustainable production of biofuels from the algae-derived biomass. *Bioprocess and Biosystems Engineering*. 2023;46(8): 1077-1097. <https://doi.org/10.1007/s00449-022-02796-8>
- Martínez-Delgado AA, Khandual S, Morales-Hernández N, Martínez-Bustos F, Vélez-Medina JJ, Nolasco-Soria H. Fish Feed Formulation with Microalgae *H. pluvialis* and *A. platensis*: Effect of Extrusion Process on Stability of Astaxanthin and Antioxidant Capacity. *International Journal of Food and*

Nutritional Science. 2020;7(1): 1-8. DOI: 10.15436/2377-0619.20.2637

- Chaudhary R, Nawaz K, Khan AK, Hano C, Abbasi BH, Anjum S. An overview of the algae-mediated biosynthesis of nanoparticles and their biomedical applications. *Biomolecules* 2020, 10(11), 1498; <https://doi.org/10.3390/biom10111498>
- Arteaga-Castrejón A, Agarwal V, Khandual S. Microalgae as a potential natural source for the green synthesis of nanoparticles. *Chemical communications* (Cambridge, England). 2024; 60. 10.1039/d3cc05767d.
- B.U.M. Enriquez, M. Rangel, Y. Kumar, S. Khandual, V. Agarwal. Algae derived carbon dots and its polymeric composites for white light emission. *Journal of Luminescence*. <https://doi.org/10.1016/j.jlum.2024.120955>.

Agradecimientos
Todas las figuras fueron creadas en <https://www.biorender.com>.

LECTURAS RECOMENDADAS

- Bernal-Uruchurtu, M. I. y V. Agarwal (2023). Puntos cuánticos: La realidad es más sorprendente que la ficción, <https://www.acmor.org/publicaciones/la-realidad-es-m-s-s-prendente-que-la-ficc-n>
- Rangel-Ayala, M. y V. Agarwal (2023). Una segunda oportunidad para el aceite usado en tu cocina, <https://www.acmor.org/publicaciones/una-segunda-oportunidad-para-el-aceite-usado-en-tu-cocina>
- Arteaga Castrejón, A. A., V. Agarwal y S. Khandual. Tesoros acuáticos: Carotenoides de microalgas y su futuro en la nanobiotecnología. *Recursos Naturales y Sociedad*, 2023. Vol. 9 (2): 29-37. <https://doi.org/10.18846/reynasoc.2023.09.09.02.0003>



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
¿Comentarios y sugerencias?, ¿Preguntas sobre temas científicos?

CONTACTANOS: coord.comite.editorial.acmor@gmail.com