

El verdadero oro verde: las microalgas, sustentabilidad y posibilidades cotidianas

KAROL RODRÍGUEZ PEÑA, FRANCISCO VERA LÓPEZ PORTILLO Y DULCE MARÍA ARIAS LIZÁRRAGA

La Dra. Rodríguez Peña es Ingeniera Bioquímica de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del IPN, Maestra en Ciencias por el Centro de Desarrollo de Productos Bióticos del IPN y Doctora en Ciencias por el Instituto de Investigaciones Biomédicas de la UNAM. Realizó una estancia de Investigación en el Institut National de la Recherche Agronomique en Nantes Francia. Ha trabajado en el área de Biotecnología de los alimentos, plantas y microorganismos, y actualmente realiza una estancia posdoctoral en el Instituto de Energías Renovables de la UNAM con microalgas en sistemas biofotovoltáicos y para el tratamiento de aguas residuales.

El Dr. Vera López Portillo es Químico Farmacéutico Biólogo por la UNAM y Doctor en Biotecnología. Actualmente realiza una estancia posdoctoral en el Instituto de Energías Renovables de la UNAM, donde investiga sistemas biofotovoltáicos y procesos bioelectroquímicos aplicados al tratamiento de aguas residuales y la degradación de contaminantes emergentes.

La Dra. Arias-Lizárraga es Ingeniera Bioquímica Ambiental por el Tecnológico Nacional de México-Mazatlán y Doctora en Ingeniería Ambiental por la Universitat Politècnica de Catalunya, España. Es Investigadora Titular A del Instituto de Energías Renovables (IER-UNAM). Sus líneas de investigación están orientadas al tratamiento y valorización de aguas residuales y residuos sólidos para la producción de biocombustibles y bioenergía.

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

Microalgas desde nuestros antepasados hasta la NASA

¿Qué tan importantes han sido las algas, microalgas y cianobacterias a lo largo de nuestra historia? ¿Actualmente les damos la importancia que se merecen? Tal vez tendríamos que voltearlas a ver de una forma distinta. Ahora con evidencia científica, las aportaciones que han hecho y siguen haciendo a la humanidad, posiblemente nos puedan ayudar a mejorar nuestro planeta y hacer una vida más sustentable.

Desde épocas muy antiguas, las culturas mesoamericanas y africanas han encontrado en las microalgas la utilidad y el tesoro que albergan en su bioquímica (Figura 1). El uso humano más antiguo registrado de algas y microalgas data entre los años 14,220 y 13,980 a.C. En el asentamiento de Monte Verde, al sur de Chile, se encontró evidencia arqueológica de al menos 10 diferentes géneros de algas provenientes de distintas condiciones climáticas (1). Según los vestigios encontrados, estas eran utilizadas tanto en su alimentación cotidiana como con fines medicinales. Entre ellas se encuentran la luga negra (*Sarcothalia crispata*),



FIGURA 1. USOS de algas y microalgas a lo largo de la historia de la humanidad. Fuentes varias. BBC.com; editado de microgreenspirulina.com; face2faceafrica.com; kirainet.com; futuresalad.com

luche (*Porphyra columbina*) y cochayuyo (*Durvillaea antarctica*) las cuales hoy en día siguen siendo consumidas de manera popular en la zona por su gran valor nutricional.

En la historia de los mexicas, encontramos el *Tecuitlatl*, que en náhuatl significa “excremento en las rocas”, ahora conocida como la *espirulina* (2). Nuestros antepasados utilizaban esta cianobacteria, abundante en el lago de Texcoco, en forma de polvo, mezclada con el maíz, otros granos, el mole o el chile y la comían gustosamente porque les daba energía para sus largas travesías o jornadas laborales.

En África, desde 1940 se tienen estudios del uso de un pastel llamado *dihé*, compuesto principalmente de *espirulina*, que consumía la tribu Kanembu, descendiente del Imperio Kanem-Bornu en los asentamientos cercanos al Lago Chad (3). Las observaciones realizadas por los investigadores mostraron que esta tribu presentaba mejor estado de salud que otros grupos étnicos, un efecto que atribuyeron al consumo regular del dihé. El uso de la *espirulina* como suplemento alimenticio se ha extendido por todo el mundo y está aprobado para su consumo humano por la FDA, ya sea en forma de comprimidos o en polvo, debido a su alto contenido nutrimental. Un estudio publicado por la UNESCO (4) indicó que 15 gramos de esta cianobacteria contienen tanta proteína como 100 gramos de carne de res, con lo que se puede combatir la desnutrición en algunas zonas estratégicas del mundo. Entre otros componentes de gran valor nutricional, contiene lípidos, calcio, hierro, magnesio, fósforo, potasio y sodio, así como vitaminas C, B6, A, K, D, riboflavina, niacina y ácido pantoténico.

El pueblo japonés también tiene una larga trayectoria en el uso y alimentación con algas. Un texto japonés de 1200 años de antigüedad indica que se entregaban algas como regalo en la corte imperial. Además, las algas kombu (alga parda

Laminaria), nori (alga roja *Porphyra*), hijiki (alga parda *Sargassum fusiforme*) y wakame (alga parda *Undaria pinnatifida*) eran de los alimentos ofrecidos a los dioses y que hasta nuestros días son parte habitual de su dieta. Actualmente el consumo anual por persona de algas en Japón es de 1.6 kg (5). Aunque pudieran haber otros factores, se piensa que esta dieta tan particular contribuye a la baja ocurrencia de algunas enfermedades, particularmente cáncer, ya que la incidencia de cáncer de mama en la población japonesa es nueve veces menor comparada con occidente.

¿Y qué tal en el espacio exterior? Desde hace unos 35 años, la NASA empezó a desarrollar experimentos en el espacio usando la *espirulina* entre las fuentes de alimentos para los astronautas (6), siendo la primera agencia espacial en hacerlo. Su aportación es muy valiosa, ya que ayuda a los astronautas, que suelen padecer trastornos fisiológicos (problemas cerebrales, óseos, circulatorios) a causa de la fuerza gravitacional casi nula en el espacio (microgravedad) y el estrés oxidativo. La *espirulina* es capaz de activar las enzimas antioxidantes celulares e inhibir la peroxidación lipídica y el daño del ADN mediante la eliminación de los radicales libres, aumentando la actividad de las enzimas. Además, esta cianobacteria tiene propiedades inmunomoduladoras y antiinflamatorias, cualidades que benefician especialmente a los astronautas, pues se ha confirmado que los ambientes espaciales pueden influir en las respuestas inmunitarias y que los que viajan fuera de la Tierra experimentan deterioro del sistema inmunológico durante sus misiones. También podría usarse para eliminar el dióxido de carbono exhalado por los astronautas, que puede volverse tóxico en una nave espacial cerrada, y para producir oxígeno y alimentos frescos como parte de los sistemas de soporte vital en futuras misiones. Finalmente, se le han encontrado propiedades radioprotectoras que ayudarían a los viajeros espaciales a protegerse de la radiación cósmica.



FIGURA 2. DESDE un frasco casero hasta un fotobiorreactor: las microalgas pueden cultivarse en recipientes simples para uso educativo o en sistemas controlados como los del Instituto de Energías Renovables de la UNAM.

La importancia cultural, nutricional y medicinal que tienen las microalgas va de la mano con otros hallazgos científicos, donde se ha observado que son las protagonistas de generar oxígeno en sistemas acuosos, en algunos casos son capaces de fijar nitrógeno y también pueden ser utilizadas como biofertilizantes y en biorremediación para limpiar sistemas acuáticos, terrestres y a su vez generar biocombustibles e inclusive electricidad.

¿Es caro o difícil cultivar microalgas?

Se podría pensar que para cultivar microalgas es necesario contar con aparatos costosos y procesos complicados, sin embargo, el cultivo de microalgas puede ser más sencillo de lo que parece. Estos microorganismos solo necesitan tres cosas básicas para crecer: luz, agua con algunos nutrientes y dióxido de carbono (CO₂), el mismo gas que exhalamos al respirar. De hecho, se pueden cultivar en botellas o pequeños recipientes con algo de aireación y luz natural. Comparadas con las plantas, las microalgas tienen una gran ventaja: su crecimiento es mucho más rápido y eficiente. Mientras una planta puede tardar semanas o meses en duplicar su masa, las microalgas pueden hacerlo en cuestión de horas.

En los laboratorios se utilizan equipos llamados *fotobiorreactores*, que son sistemas cerrados donde se pueden controlar de manera precisa las condiciones del cultivo. Allí se ajusta la intensidad de luz, la temperatura, la cantidad de aire que entra, que a su vez determina el CO₂ disponible, y el pH del medio, que influye directamente en el crecimiento. Estas condiciones permiten obtener resultados estables y reproducibles, lo cual es fundamental para fines de investigación: entender cómo responden las microalgas, comparar distintos tipos de cultivos y mejorar su eficiencia.

Las innovaciones en nuestros laboratorios

En el Laboratorio de Bioenergía y el Laboratorio de Ciencia e Ingeniería del Agua del Instituto de Energías Renovables de la UNAM, en Morelos, trabajamos día a día con microalgas para entender cómo estos microorganismos pueden ayudarnos a construir un futuro más limpio.

A primera vista, un cultivo de microalgas puede parecer solo una serie de columnas verdes, pero en realidad, dentro

de cada una ocurre un proceso biológico fascinante: una fábrica natural que captura CO₂, produce energía y, en algunos casos, incluso ayuda a purificar el agua, todo esto gracias al proceso metabólico fundamental en estos organismos: la *fotosíntesis*. Así, en nuestros laboratorios probamos diferentes especies de microalgas y modificamos ciertas condiciones de crecimiento, bajo la luz del sol o con lámparas controladas, dentro de tubos transparentes o biorreactores, con medios de cultivo preparados o aguas residuales. En diversas condiciones evaluamos cómo crecen las microalgas, qué compuestos producen y cuáles son capaces de degradar, cuánto oxígeno libera o cuánta biomasa producen. La *biomasa* es el material orgánico que forman al crecer, principalmente formado por proteínas, azúcares y aceites que tienen diferentes aplicaciones biotecnológicas como biofertilizantes, biodiesel o suplemento alimenticio, dependiendo del microorganismo y el sustrato utilizado.

Una de las grandes ventajas de trabajar con microalgas, aparte de su rápido crecimiento, es la versatilidad de los sistemas de cultivo que podemos utilizar. En el laboratorio las cultivamos ya sea en pequeños frascos de vidrio, del tamaño de un envase de Gerber®, hasta en fotobiorreactores de varios litros de capacidad (Figura 2).

Los cultivos a pequeña escala nos permiten estudiar con detalle el sistema, controlar de forma precisa las condiciones y comprender mejor cómo crecen estas células o cómo responden ante distintos factores. En cambio, los reactores más grandes nos ayudan a llevar esos mismos conceptos a una escala superior y evaluar si las condiciones siguen siendo viables cuando se exponen a factores naturales, como los cambios de temperatura, la intensidad de la luz solar o las variaciones propias de las estaciones del año.

Los resultados nos han mostrado que las microalgas son asombrosas: son capaces de adaptarse a diferentes sistemas y condiciones ambientales, también pueden reproducirse y transformar contaminantes en biomasa y así reducir la contaminación ambiental. En algunos casos también hemos podido observar cómo estas microalgas pueden producir energía eléctrica, dependiendo del sistema en el que los coloquemos. Ahora nuestros retos están en aprender a sacar el máximo potencial de estos microorganismos, en perfeccionar la tecnología, los sistemas y las condiciones para adaptarse a sistemas productivos eficientes. Cada reactor, sin importar su tamaño, representa un pequeño ecosistema que refleja los principios de la sustentabilidad: aprovechar

los recursos disponibles, mantener un equilibrio y obtener beneficios sin dañar el entorno. En nuestro caso, estudiar estos sistemas nos permite diseñar tecnologías que podrían aplicarse para tratar aguas residuales, capturar CO₂ o generar energía limpia. Pero más allá de los datos y los resultados, el verdadero valor está en lo que simbolizan: una ciencia que se adapta, innova y propone soluciones reales a los problemas locales y globales. Y no solo eso: también es posible mantener cultivos sencillos en escuelas, hogares o comunidades interesadas en aprender, cuidar el medio ambiente y obtener un beneficio de ellos.

Pensemos sustentable utilizando algas en nuestro día a día

¿Como sería un mundo sustentable utilizando algas como protagonistas? Un ejemplo claro en nuestro país es la casa Angelita en Puerto Morelos, Quintana Roo (Figura 3). Esta casa, en 2019 se convirtió en la pionera de una nueva tecnología, al construirse con bloques de hasta 70% del alga parda *Phaeophyceae* mejor conocida como sargazo, la cual suele representar un problema en las costas cercanas de este estado de la república. Los bloques producidos son 100% orgánicos, elaborados en un proceso de producción sustentable y tienen propiedades térmicas e incluso antibalas a un costo de construcción de entre 25% y 27% menor que con los materiales convencionales. Pero si hablamos de sustentabilidad, no solamente debemos considerar la construcción, sino la producción de energía eléctrica, la climatización, producción de oxígeno, biodiesel, etc. Las microalgas pueden desempeñar un papel clave en todos estos procesos.



FIGURA 3. CASA Angelita, construida con bloques de sargazo (Foto: SIPSE). La casa de las algas en Alemania (Foto: Googlemaps) con paneles de biorreactores de algas para calefacción y producción de energía.

En abril del 2013 en Wilhelmsburg, Hamburgo, Alemania se creó el primer edificio BIQ (por sus siglas en inglés Bio Intelligent Quotient) también conocida como la “Casa de las Algas” cuyos paneles de vidrio de la fachada contienen microalgas vivas que, mediante la fotosíntesis, producen calor y biomasa. Este calor se cosecha y se utiliza para calentar los apartamentos del edificio y el agua. El proyecto fue completado y ha estado operativo desde 2013, sirviendo como un proyecto piloto y un ejemplo de arquitectura sostenible e innovadora (<https://maps.app.goo.gl/AMtEf8XBUErScQdj6>).



FIGURA 4. DIAGRAMA del proceso de cultivo doméstico de microalgas.

Haz tú mismo un experimento verde en casa

Ahora es nuestro turno de convertir nuestro propio hogar en un ambiente más sustentable. Para crear tu propio cultivo de microalgas basta con un frasco transparente, un poco de agua con nutrientes naturales como el agua que queda al enjuagar verduras o arroz, un poco de muestra de microalgas que podrás obtener de alguna fuente, lago o cuerpo de agua cercano, y finalmente luz natural del sol. Coloca el frasco en una ventana y agítalo suavemente una o dos veces al día para que el gas y la luz se distribuyan mejor (Figura 4).

En pocos días, el líquido comenzará a tornarse verde: ese color es señal de que las microalgas están activas y realizando fotosíntesis. Con este pequeño cultivo, estarás participando en un ciclo natural: las microalgas absorben el CO₂ del aire y liberan oxígeno, ayudando a mejorar la calidad del ambiente inmediato. Cuando el cultivo se vuelva más denso, puedes diluir una parte para continuar tu cultivo de microalgas y la otra puedes utilizarla para para regar tus plantas, ya que las microalgas liberan compuestos que enriquecen el suelo y aportan nutrientes naturales sin necesidad de fertilizantes químicos. De esta manera, lo que comenzó como un pequeño experimento en casa puede convertirse en una fuente constante de fertilizante orgánico, reduciendo el uso de productos químicos y cerrando pequeños ciclos de aprovechamiento.

Además del beneficio ambiental, este tipo de experiencias acercan la ciencia a la vida cotidiana. Esto nos permite

máquinas o tecnologías deslumbrantes; a veces llega en forma de diminutos seres verdes capaces de construir un mundo más limpio y sostenible. Cuando las integramos en nuestro entorno, no solo aprovechamos su capacidad para generar energía, limpiar el aire o producir biomasa, sino que también recuperamos una conexión profunda con la naturaleza. Podemos imaginar muros que respiran, ventanas que capturan luz para convertirla en seres vivos y edificios que colaboran activamente con el planeta produciendo su energía (Figura 5). De esta manera, esto dejará de ser ciencia ficción y se convertirá en una posibilidad real. Desde el laboratorio, estos increíbles microorganismos nos invitan a soñar con ciudades vivas, donde cada superficie trabaja silenciosamente por un mañana más limpio. Son un recordatorio poderoso de que la sustentabilidad no es un lujo, sino una forma de reconciliarnos con la naturaleza, permitiendo que incluso los organismos más pequeños iluminen nuestro camino hacia un futuro más armónico.

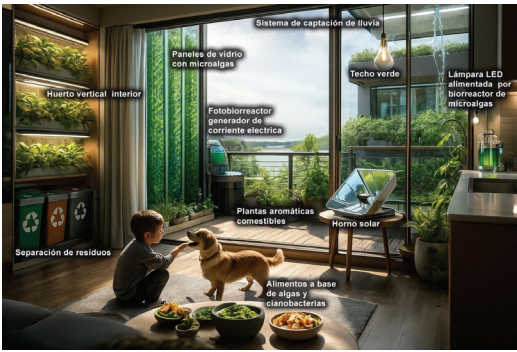


FIGURA 5. IMAGINANDO un entorno más verde desde los hogares. Imagen construida con OpenAI utilizando ChatGPT y editada por los autores.

Referencias

- 1.- Dillehay, T. D. et al. (2008). Monte Verde: Seaweed, Food, Medicine, and the Peopling of South America. *Science* 320:784-786. <https://www.science.org/doi/epdf/10.1126/science.1156533>
- 2.- Microgreen (2025). La Espirulina: el superalimento de civilizaciones ancestrales. <https://microgreenspirulina.com/la-espirulina-el-superalimento-de-civilizaciones-ancestrales/>
- 3.- Nunoo, A. (2020). A look at Dihé, the Chadian superfood used to fight malnutrition. <https://face2faceafrica.com/article/a-look-at-dihe-the-chadian-superfood-used-to-fight-malnutrition>
- 4.- UNESCO (2020). Spirulina, a miracle ingredient in Lake Chad. <https://www.unesco.org/en/articles/spirulina-miracle-ingredient-lake-chad?hub=66722>
- 5.- Fujiwara-Arasaki, T. et al. (1984). The protein value in human nutrition of edible marine algae in Japan. *Hydrobiologia* 116/117: 513-516. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-009-6560-7_104
- 6.- Karkos, P. D. et al. (2011). Spirulina in Clinical Practice: Evidence-Based Human Applications. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2011, 531053. <https://doi.org/10.1093/ecam/nen058>
- 7.- Herrera, A. De Puerto Morelos para el mundo: casas de sargazo llegarán al extranjero. *Novedades Quintana Roo*, 30 de julio 2022. <https://sipse.com/novedades/de-puerto-morelos-para-el-mundo-casas-de-sargazo-llegaran-al-extranjero-429951.html>

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.