

Potencial de las algas y la naturaleza en el secuestro de carbono

Algae and nature potential in carbon sequestration

Recibido: 2025-01-21 Aceptado: 2025-03-07

Castro Mora, Marianto¹

Correo: notasgeologiavenezuela@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0009-0005-1330-6476>

Resumen

Algunos tipos de algas han demostrado ser entre 10 y 50 veces más potentes para extraer carbono de la atmósfera que otras plantas vasculares. El mecanismo de secuestro de CO₂ se realiza durante la fotosíntesis, vía bioconcentración. La evaluación del desempeño reveló que la eficiencia de captura y secuestro de CO₂ por parte de las microalgas oscila entre el 40% y el 93,7%. En la búsqueda de un futuro sostenible, no debemos pasar por alto el inmenso potencial de las soluciones basadas en la naturaleza. La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, sugiere, no olvidar que los cultivos rurales juegan un papel significativo en el secuestro de carbono en el suelo a través de la producción de biomasa y el cuidado de cultivos perennes. Estos estudios son cruciales a la hora de fomentar prácticas agronómicas sostenibles que pueden ayudar a secuestrar carbono. Adicionalmente en el artículo se tratan otros métodos como ejemplo de utilización de la naturaleza en el secuestro de carbono y métodos industriales de secuestro de carbono, CCS (evita que se añada más CO₂) y DAC (elimina el CO₂ que ya está en la atmósfera) en Islandia.

Palabras clave: algas, quelpo, cambio climático, CO₂.

Abstract

Algae's have been shown to be 10 to 50 times more potent at extracting carbon from the atmosphere than other vascular plants. The CO₂ sequestration mechanism is carried out during photosynthesis, via bioconcentration. The performance evaluation revealed that the CO₂ capture and sequestration efficiency of microalgae ranges between 40% and 93.7%.

In the search for a sustainable future, we should not overlook the immense potential of nature-based solutions. The Food and Agriculture Organization of the United Nations suggests that we should not forget that rural crops play a significant role in sequestering carbon in the soil through biomass production and the care of perennial crops. These studies are crucial in promoting sustainable agronomic practices that can help the sequester carbon process.

¹ Ingeniero Geólogo, Magister Scientiarum Geología Sedimentaria. Venezuela. Consultor independiente, Toronto.

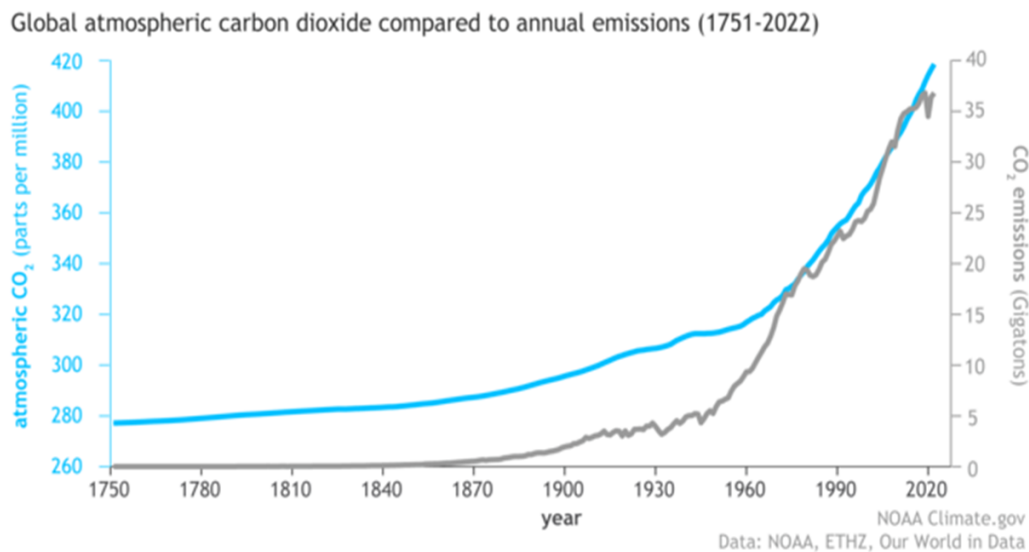
Additionally, the article discusses other methods such as the use of nature in carbon sequestration and industrial methods of carbon sequestration, CCS (prevents more CO₂ from being added) and DAC (removes the CO₂ already in the atmosphere) in Iceland.

Keywords: algae, kelp, climate change, CO₂.

Antecedentes

Hoy en día, los niveles de dióxido de carbono en la atmósfera son más de un 50% superiores a los de antes del inicio de la era industrial. Por ello, ya no basta con frenar nuestras emisiones, también debemos eliminar activamente el dióxido de carbono de la atmósfera (World Economic Forum, 2025). Las emisiones aumentaron lentamente a alrededor de 5 gigatoneladas (una gigatonelada equivale a mil millones de toneladas métricas) por año a mediados del siglo XX antes de dispararse a más de 35 mil millones de toneladas por año a fines del siglo. La cantidad de dióxido de carbono en la atmósfera (línea azul) ha aumentado junto con las emisiones humanas (línea gris) desde el comienzo de la Revolución Industrial en 1750 (Figura 1).

Figura 1: Dióxido de carbono atmosférico global comparado con la emisión anual (1751-2022).



Fuente: Gráfico tomado de Lindsey (2024).

La amenazante crisis del cambio climático y la contaminación resultante de diversas intervenciones antropogénicas ha atraído la atención mundial durante las últimas décadas. Sin

embargo, los métodos de captura y almacenamiento no biológico de carbono que comenzaron a ensayarse y que en un principio se consideraron como una tecnología muy prometedora para mitigar este escenario preocupante, resultaron no ser económicamente viables y sus implicaciones ambientales a largo plazo no estaban claras.

Alternativamente, se comenzó a experimentar con la captura biológica de dióxido de carbono (CO₂) mediante microalgas. Este método, hoy en día, se considera un medio atractivo para reciclar el exceso de CO₂ generado por las centrales termo-eléctricas, los medios de transporte, las erupciones volcánicas, la descomposición de materia orgánica, los incendios forestales y muchos otros problemas ambientales que están afectando al planeta.

Adicionalmente, la reforestación, la gestión sostenible de suelos agrícolas y la restauración de ecosistemas marinos como manglares y praderas marinas son métodos clave que permiten que las plantas y los suelos absorban y retengan el dióxido de carbono de la atmósfera, que pasa a formar parte de la biomasa y el suelo de forma natural.

Introducción

Las algas y microalgas tienen una alta capacidad de absorción de carbono sobre todo las denominadas algas pardas. Se estima que las algas que crecen naturalmente en los océanos de la Tierra secuestran actualmente 173 millones de toneladas de CO₂ por año, a razón de 50 toneladas o más por hectárea. Las algas absorben grandes cantidades de CO₂ a través de la fotosíntesis para crear biomasa. Este carbono queda secuestrado para siempre cuando el alga muere y se entierra en las profundidades del océano, ya sea en sedimentos o como carbono orgánico disuelto por debajo de los 1.000 metros de profundidad.

La plantación de árboles y manglares representa un poderoso medio para secuestrar dióxido de carbono y regenerar los ecosistemas. La selva amazónica almacena más de 75 000 millones de toneladas de carbono y, como tal, está en el centro de la crisis climática mundial. Desempeña un papel crucial en la lucha contra el cambio climático; su destino está íntimamente ligado a la lucha mundial contra el cambio climático.

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, en la más reciente Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales de la FAO (2020), el área total de los bosques del mundo es de aproximadamente 4.06 billones de hectáreas. Estos bosques representan uno de los principales sumideros de carbono por su

capacidad natural de absorber el dióxido de carbono de la atmósfera mediante la fotosíntesis y almacenarlo en sus estructuras físicas (tronco, raíces, ramas y hojas) y posteriormente en el suelo; a este proceso se le conoce como secuestro de carbono. Este método de captura de carbono mediante la gestión de la tierra mejora el almacenamiento natural de CO₂ en el suelo. Además de tener el beneficio obvio de la captura de carbono, este método ofrece varios beneficios colaterales, como un mayor rendimiento de los cultivos, una mejor calidad del agua, una mejor salud del suelo y, en algunos casos, una mayor rentabilidad de las explotaciones agrícolas. El método se puede llevar a cabo de varias maneras, desde la plantación de cultivos de cobertura hasta el uso de compost.

Captura y almacenamiento de carbono (CCS), la filosofía de esta técnica consiste en capturar y almacenar el carbono antes de que abandone las instalaciones industriales. Existen varias formas de atraparlo, que abarcan desde separación de gases tras la combustión hasta el uso de combustión con oxígeno puro, conocida como oxidación, para producir CO₂ prácticamente puro. Una vez que se ha secuestrado el carbono, puede inyectarse en formaciones geológicas bajo tierra o bien convertirse en materia prima para su uso en otros procesos industriales.

Un método reciente de captura de carbono consiste en la erosión mejorada, que consiste en triturar rocas y esparcirlas sobre la tierra, lo que puede dar como resultado la formación acelerada de carbonato estable a partir del CO₂. Su naturaleza temprana significa que es difícil predecir la utilización y el costo del carbono de este método.

La mineralización de carbono utiliza basalto o desechos minerales alcalinos (aunque estos últimos son limitados) para crear reacciones naturales entre el CO₂ y las rocas reactivas que dan como resultado su captura y almacenamiento. Este método presenta una oportunidad de almacenamiento permanente, ya sea a través de minerales carbonatados subterráneos o en los de la superficie de la Tierra. Sin embargo, conlleva algunos riesgos ambientales potenciales, incluidas consideraciones logísticas y técnicas complejas.

Islandia acogerá la mayor planta de secuestro de carbono en el mundo, la llamada Planta Mamut (Figura 2), que comenzó a operar en mayo 2024. Esta planta utilizará tecnología de captura directa de aire (DAC, por sus siglas en inglés). Estas tecnologías de última generación emplean dispositivos mecánicos para extraer directamente el dióxido de carbono de la atmósfera. El CO₂ capturado se puede almacenar geológicamente o reutilizarse en la producción de

materiales industriales y combustibles sintéticos, lo que ofrece una solución flexible y potencialmente ubicua para reducir las concentraciones atmosféricas de CO₂. Islandia utiliza casi exclusivamente energía renovable en todos sus procesos. La planta Mamut no es una excepción, ya que emplea energía geotérmica de la central Hellisheidi para alimentar sus operaciones, lo que minimiza su huella de carbono. La captura de CO₂ se realizará a través de 72 unidades de recolección que filtran el aire, absorben el CO₂ y luego lo combinarán con agua para inyectarlo en formaciones basálticas subterráneas. Aquí, el CO₂ reaccionará con el basalto y se mineralizará, convirtiéndose en roca y permaneciendo almacenado de manera permanente. La compañía suiza detrás del proyecto planea escalar esta tecnología para alcanzar una capacidad de captura de megatonnes para 2030 y de gigatonnes de CO₂ para 2050, lo que podría ser un importante apoyo para cumplir con los objetivos climáticos globales. Por ahora, el principal reto de la tecnología DAC es reducir sus costes y mejorar su eficiencia energética. Así, capturar una tonelada de CO₂ cuesta alrededor de mil dólares, pero se espera que esta cifra se reduzca a trescientos de aquí al año 2030.

Figura 2: Planta Mamut, Islandia.



Fuente: Gráfica tomada de l'MNOVATION (2024).

Ejemplos de utilización de las algas en el secuestro de carbono

Se presentan algunos ejemplos de la aplicación de las algas en el secuestro de carbono:

- Dentro de las aplicaciones para mitigar el cambio climático se está comenzando a utilizar el cultivo de algas quelpo (Figura 3). Esta es una solución natural infrautilizada que puede ayudar a mitigar el cambio climático, al tiempo que aporta numerosos beneficios para la biodiversidad, la salud de los océanos (desacidificación y oxigenación de las aguas), las comunidades locales y la resiliencia. Sin embargo, aún existen lagunas en el conocimiento de la cantidad y la velocidad a la que el alga (silvestre o cultivada) es secuestrada y se añade a la reserva de carbono azul en el fondo del océano. Un estudio de cuatro años utilizará el alga gigante piloto (y posteriormente de tamaño comercial) de Kelp (quelpo) Blue (el primero de su clase) en alta mar de Namibia para realizar pruebas de campo con el fin de comprender mejor la capacidad del cultivo de algas gigantes en alta mar para secuestrar carbono.

Figura 3: Alga quelpo.



Fuente: Foto tomada de GENOMICA (2024)

- Investigadores chilenos están intentando determinar el enorme potencial que tienen las algas marinas trabajando en el primer proyecto de “Carbono Azul” que consiste en el carbono que retienen los ecosistemas costeros y marinos, manglares, marismas, praderas de pastos marinos, bosques de macroalgas, entre otros (Figura 4). Se trata del carbono que se encuentra como biomasa en estos ecosistemas y a la vez enterrado en los sedimentos. Una de las oportunidades relevantes que ofrece hoy el carbono azul es el secuestro de carbono que realizan estos ecosistemas, es decir, que lo almacenan a largo plazo, esto en escalas temporales climáticamente significativas por cientos de años o más, explica Octavia Barra, especialista en algas de Fundación Chile. En la región de Atacama, en la zona de Bahía Inglesa, Anglo American junto a Fundación Chile, el centro de innovación acuícola AquaPacífico y la Universidad Andrés Bello adelantan un proyecto que consiste en el cultivo de macroalgas con capacidad potencial de absorción de emisiones de carbono cincuenta veces más potente que algunos ecosistemas terrestres todo ello enmarcado dentro del programa de compensar las emisiones de CO₂ para el año 2040 en Chile.

Figura 4: Proyecto Carbono Azul.



Fuente: Gráfico tomado de Fundación Chile, Iniciativa Carbono Azul (2025)

- En Terranova y Labrador, Canadá se está utilizando el alga denominada queipo, cuyo cultivo es carbono negativo (lo que significa que es una actividad va más allá de la neutralidad de

carbono al eliminar más CO₂ del que emite) y puede ser utilizada como biomasa en la industria alimenticia y cosmética o sumergiéndola en las profundidades del océano (Figura 5). Este estudio se basa en el ejemplo de la costa chilena con el alga denominada cohayuyo, alimento clásico de las zonas costeras de Chile. Muchos han comenzado recientemente a reconocer las algas como una posible fuente alternativa de alimento. Los humanos han consumido algas durante miles de años. Pero sólo recientemente hemos centrado nuestra atención en su potencial nutricional y ambiental. Las algas y microalgas son ricas en proteínas. Contienen aminoácidos esenciales, ácidos grasos, omega-3, -6 y -7, y vitaminas A, D y E.

Figura 5: Bosque de alga queipo, Terranova, Canadá.



Fuente: Jenn Burt, 2023, Radio Canadá Internacional. Documento en línea

- Cultivar y enterrar algas en el Sahara podría ser una solución novedosa contra la crisis climática. La empresa londinense Brilliant Planet alquiló 6.100 hectáreas de terreno a las afueras de la remota ciudad costera de Akhfenir, en el sur de Marruecos, encajonada entre el océano Atlántico al norte y el Sahara al sur y lo está utilizando para cultivar algas (Figura 6). Las algas se extraen del agua, se bombean a una torre de 10 pisos y se pulverizan en el aire del desierto. En los aproximadamente 30 segundos que tarda en llegar al suelo, el aire caliente seca la biomasa, dejando copos de algas hipersalinas que pueden recogerse y enterrarse a poca profundidad, secuestrando su carbono durante miles de años, afirma la empresa. Una vez que se complete su

primera planta a gran escala (1.000 acres), podrá eliminar alrededor de 40.000 toneladas de CO₂ al año. Esto equivale a las emisiones producidas por unos 92.000 barriles de petróleo. Después de la ampliación total, se prevé que el sistema elimine 2 gigatoneladas de CO₂ al año.

Figura 6: Planta piloto de Brilliant Planet en Akhfenir (Marruecos).



Fuente: Tomada de Algae Planet (2023).

- Qualitas, una empresa de Nuevo México (Figura 7), opera una granja de 97 acres del género de algas *Nannochloropsis* con fines nutricionales y de combustible. El dióxido de carbono inyectado en las plantas de algas para estimular el crecimiento las transforma en un sumidero natural de carbono. Actualmente, para producir 1 kilogramo de algas, el equipo de Qualitas utiliza 2,7 kg de CO₂ (Avana Andrade, San Mateo County Carbon, 2024-2025).

Figura 7: Qualitas, Nuevo México.



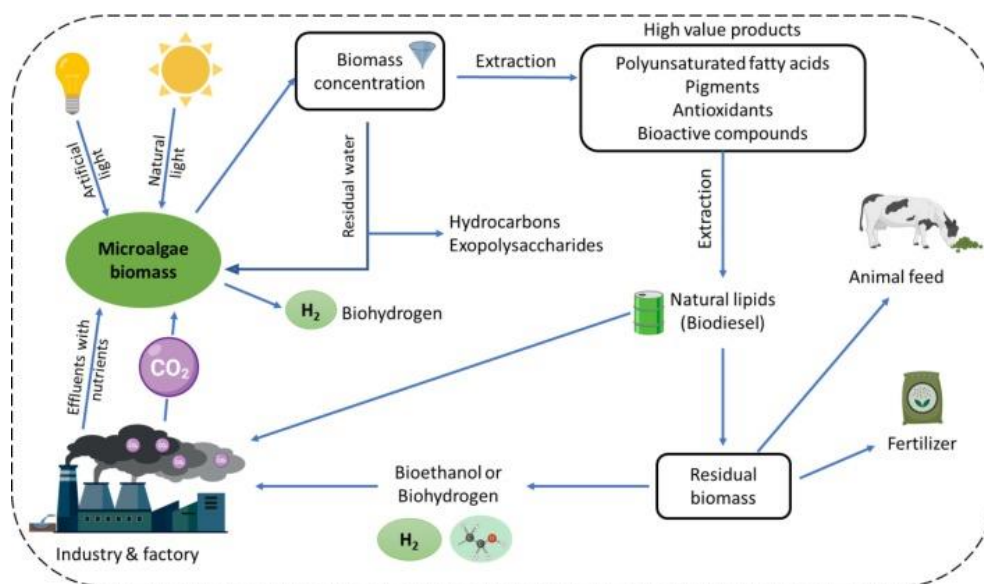
Fuente: tomada de Calatayud (2020). Documento en línea

- India es el tercer mayor emisor de carbono, detrás de China y Estados Unidos, y no ha fijado un plazo para alcanzar la neutralidad de carbono, más bien ha impulsado nuevas inversiones en carbón y minería. Pero los científicos observan cómo el cultivo de algas puede ayudar a reducir el impacto de las emisiones de gases de efecto invernadero, revertir la acidificación del océano y mejorar el ambiente marino. Científicos marinos del gobierno, han comentado que las algas son una alternativa positiva porque los hábitats costeros y humedales que absorben cinco veces más carbono que los bosques en tierra. India, con una línea costera de 8.000 km, apunta a aumentar la producción de algas de las 30.000 toneladas actuales a más de un millón de toneladas para 2025. Las algas crecen en abundancia a lo largo de las costas de Tamil Nadu y Gujarat y alrededor de Lakshadweep y las islas Andaman y Nicobar. También hay ricos bancos de algas en Mumbai, Ratnagiri, Goa, Karwar, Varkala, Vizhinjam y Pulicat en Tamil Nadu y Chilka en Orissa.
- Una importante aplicación de las microalgas para reducir la cantidad de CO₂ son las llamadas bio-refinerías. El proceso involucra cultivo masivo de microalgas en tierra, estanques, lagos, ríos, aguas residuales y mares para generar bioenergía para así producir una diversidad de productos incluyendo los biocombustibles con emisiones negativas y potencialmente tratamiento de aguas residuales. Las microalgas se pueden dividir en partes más pequeñas, como proteínas, lípidos y carbohidratos por ello son una opción deseable como materia prima para las biorrefinerías. Las microalgas también se pueden cultivar para la producción masiva de biomasa y pueden crecer

en una variedad de entornos, incluidos estanques, lagos, ríos, aguas residuales y mares (Figura 8). Estos biocombustibles producidos por algas han demostrado ser más efectivos que los obtenidos del aceite de palma. En 2019, la Comisión Europea ya catalogó el aceite de palma como un elemento de alto riesgo de cambio de uso de la tierra y aprobó su eliminación gradual como combustible renovable a 2025 tras la publicación de informe que demostró que los biocarburantes producidos con esta materia prima generan tres y dos veces más emisiones que el diésel fósil.

- Los biocombustibles con emisiones negativas producidos por microalgas han demostrado que son más efectivos que los obtenidos del aceite de palma.

Figura 8: las microalgas como materia prima para las biorrefinerías.



Fuente: tomado de Okeke et al. (2022)

Conclusión y puntos de atención

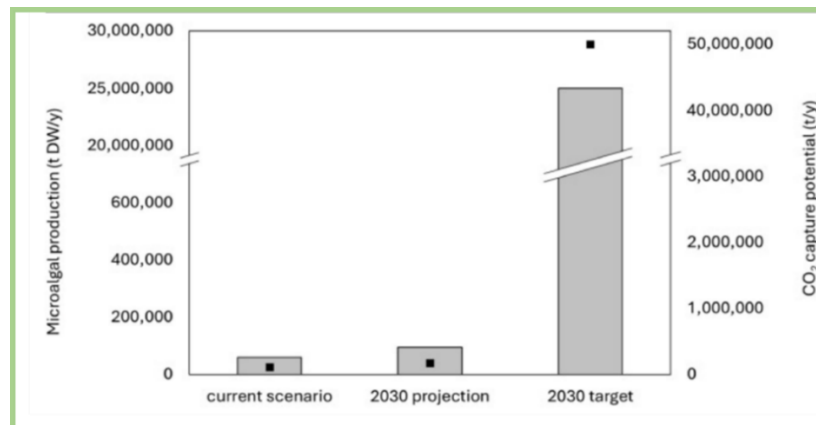
En la búsqueda de un futuro sostenible, no debemos pasar por alto el inmenso potencial de las soluciones basadas en la naturaleza. Dar prioridad a las soluciones basadas en el ecosistema es la mejor apuesta de la humanidad para lograr una captura y almacenamiento sostenibles del carbono. Además, ya existen y podemos lograr que trabajen con eficiencia. Estas opciones

ecológicas, no sólo capturan eficazmente el dióxido de carbono, sino que también favorecen la salud general del ecosistema.

Es muy importante tener en cuenta que no todos los bosques de algas marinas tienen el mismo impacto en la captura de carbono. Su ubicación es un factor determinante. Los bosques de algas marinas en regiones templadas y polares absorben más carbono que aquellos en aguas más cálidas y tropicales. Esto se debe a que las aguas frescas y ricas en nutrientes favorecen el crecimiento de los bosques más altos, lo que los hace más eficientes en la absorción de carbono.

La Figura 9 muestra la producción actual y proyectada de microalgas (representada por barras) y potencial de captura de CO₂ de las microalgas producidas (representadas por cuadrados). El objetivo para 2030 se calculó asumiendo que se producirían suficientes microalgas para capturar 50 Mt de CO₂ por año (Fernandes de Souza et al., 2024).

Figura 9: Producción actual y proyectada de microalgas



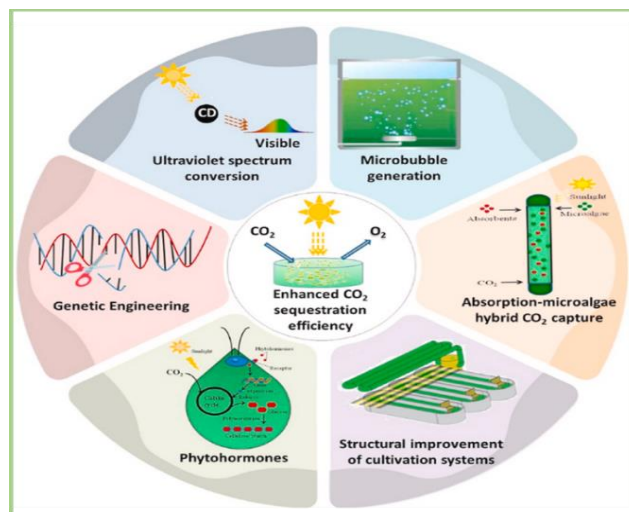
Fuente: tomada de Fernandes de Souza et al. (2024)

La captura biológica de CO₂ a través de microalgas de rápido crecimiento desde fuentes puntuales es uno de los aspectos críticos que en última instancia pueden ayudar a descarbonizar y, por ende, mejorar el calentamiento global. Las microalgas parecen ser un candidato potencial para el secuestro de carbono debido a su naturaleza de rápido crecimiento y mayor eficiencia de fijación de carbono en comparación con las plantas terrestres. Las microalgas pueden crecer en una amplia gama de entornos, pueden cultivarse en tierras no fértiles en aguas residuales y pueden asimilar tanto carbono orgánico como inorgánico. Es importante destacar la importancia adicional de las algas marinas para la humanidad que incluye alimentación, sectores industriales,

área farmacéutica, alimentación animal acuática, cosméticos, textiles y bioempaques entre otros. Mención aparte, su potencial para abordar deficiencias nutricionales comunes, incluyendo hierro, vitamina A, omega-3 y yodo.

La Figura 10 sintetiza cómo optimizar el secuestro de CO₂ de las microalgas, integrar la generación de productos valiosos y explorar a futuro técnicas novedosas como manipulaciones genéticas, fitohormonas, puntos cuánticos y herramientas de inteligencia artificial para mejorar la eficiencia del secuestro de CO₂.

Figura 10: Optimización sintetizada del secuestro del CO₂ de las microalgas



Fuente: tomado de Goswami et al. (2024)

Sin embargo, se requieren recursos para investigación y así responder algunas preguntas fundamentales: ¿Cuántas algas podemos cultivar? ¿Qué se necesitará para asegurar que las algas se hundan en el fondo del océano? ¿Cuánto carbono permanecerá allí el tiempo suficiente para ayudar de verdad al medio ambiente? ¿Cuál sería el Impacto ecológico de depositar miles de millones de toneladas de biomasa muerta en el fondo del mar? ¿Tenemos idea de lo que significará intervenir activamente el sistema marino? El uso de microalgas en bio-refinerías está a un nivel incipiente y se necesita mucha investigación para evaluar su aplicación en gran escala.

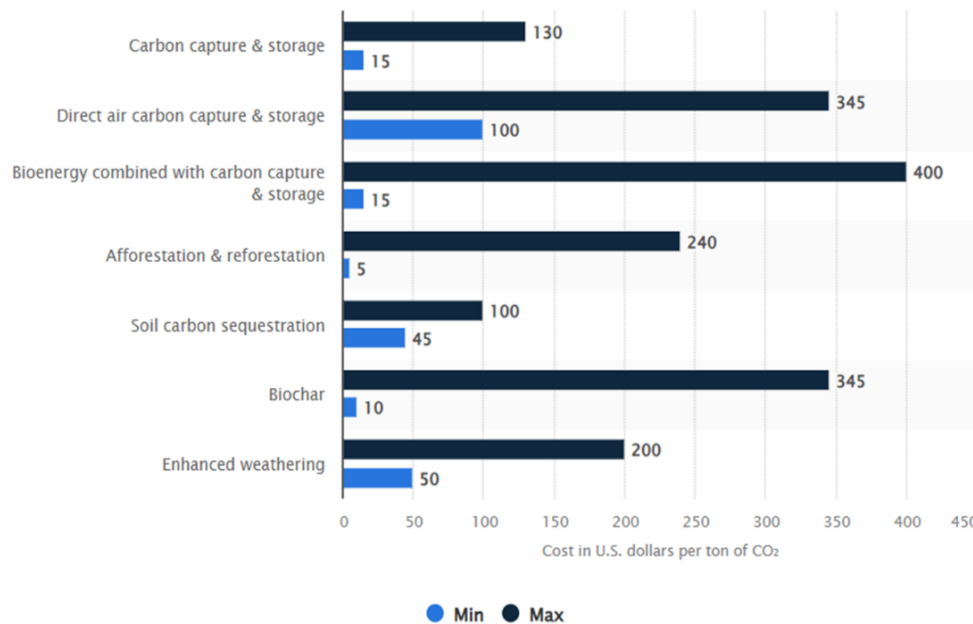
A algunos investigadores también les preocupa el impacto ecológico de sumergir tantas algas. Los bosques flotantes podrían bloquear las rutas de migración de los mamíferos marinos y quizás llegar a afectar el ecosistema marino. Científicos y ecologistas advierten que no hay que

precipitarse y deben destinarse recursos para la investigación científica y medioambiental creando consejos asesores científicos independientes que trabajen en conjunto con empresas privadas y grupos Intergubernamentales de expertos sobre el cambio climático.

Por otra parte, según un estudio de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (2020), los cultivos rurales juegan un papel significativo en el secuestro de carbono en el suelo a través de la producción de biomasa y el cuidado de cultivos perennes. Estos estudios son cruciales a la hora de fomentar prácticas agronómicas sostenibles que pueden ayudar a secuestrar carbono. Muchos de estos proyectos adelantados hasta ahora han sido dirigidos por mujeres, quienes han demostrado una alta eficiencia en la dirección de proyectos de captura de carbono. Según el estudio, las mujeres son más propensas a utilizar prácticas de gestión de la tierra sostenibles y a participar en proyectos comunitarios. Las Naciones Unidas también propone en lugar de poner en marcha proyectos e iniciativas completamente nuevos (caros y que aún no se han probado) de cultivo de carbono. Se conoce como cultivo de carbono a una variedad de métodos agrícolas destinados a secuestrar el carbono atmosférico en el suelo y en las raíces, la madera y las hojas de diferentes cultivos. Aumentar el contenido del material orgánico del suelo puede ayudar al crecimiento de las plantas, aumentar el contenido total de carbono, mejorar la capacidad de retención de agua del suelo y reducir el uso de fertilizantes. Quizás, una estrategia más eficaz a corto plazo, es brindar más apoyo a los miles de agricultores y organizaciones que ya se dedican a los cultivos perennes, los cultivos de biomasa, así como sistemas de cultivo y otras prácticas de secuestro de carbono.

Se estima que los costos de la captura y almacenamiento de carbono oscilaron entre 15 y 130 dólares estadounidenses por tonelada métrica de dióxido de carbono (toneladas de CO₂), mientras que los costos de la captura y almacenamiento de carbono directos en el aire oscilaron entre 100 y 345 dólares estadounidenses por tonelada de CO₂. En cambio, las soluciones basadas en la naturaleza, como la forestación y la reforestación, oscilaron entre 45 y 240 dólares estadounidenses por tonelada de CO₂ (Figura 11). El costo del uso de microalgas puede oscilar entre 230 y 920 dólares estadounidenses en sus primeros ensayos (STOREG@A 2025). Sin embargo, es una técnica que está en estado incipiente de desarrollo y a medida que se produzcan nuevos estudios y desarrollos, los costos pueden ser optimizados a futuro.

Figura 11: Costos estimados de la captura de carbono.



Fuente: tomado de Statista (2023)

Referencias

- Algae Planet. (2023). *Algae Planet's Top Ten Algae Stories of 2023*. <https://algaeplanet.com/algaeplanets-top-ten-algae-stories-of-2023/>
- Algae Planet 2023. *Brilliant Planet Update*. <https://algaeplanet.com/brilliant-planet-update/>
- Andrade, A. (2024). San Mateo County Building Decarbonization Strategy 2024-2025. *Civic Well*. <https://civicwell.org/civic-news/currents-smc-building-decarb-strategy/>
- Balan, V.; Pierson, J.; Husain, H.; Kumar, S.; Saffron, C. y Kumar, V. (2023). Potential of using microalgae to sequester carbon dioxide and processing to bioproducts. *Green Chemistry*, Issue 20. <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2023/gc/d3gc02286b/unauth>
- Burt, J. (2023). *Científicos recomiendan el cultivo de algas para luchar contra el cambio climático*. Radio Canadá Internacional. <https://ici.radio-canada.ca/rci/es/noticia/2012900/cientificos-recomiendan-algas-luchar-cambio-climatico>
- Calatayud, M. (2020). *Farming Revolution: Growing algae in southern New Mexico, Luna County*. <https://archleague.org/article/luna-county/>
- Capecchi, F. (2023). New Study Reveals Seaweed's Hidden Climate Benefits. *Sierra Club*. <https://www.sierraclub.org/ecocentro/2023/08/un-nuevo-estudio-revela-los-beneficios-climaticos-ocultos-de-las-algas-marinas>

- Carbon Credits (2022). *Growing Algae in The Desert to Capture Carbon*. https://carboncredits.com/brilliant-planet-carbon-capture-with-algae/?sl=cc-google-ads&gad_source=1&gclid=EAlaQobChMIppTntLKkiAMVUjcIBR1A8ggLEAMYAiAAEglFPD_BwE
- Europa Press Science (2022). *Las algas pardas pueden secuestrar enormes cantidades de CO₂*. <https://www.europapress.es/ciencia/cambio-climatico/noticia-algas-pardas-pueden-secuestrar-enormes-cantidades-CO2-20221223205849.html>
- Fernandes De Souza, M.; Meers, E. y Manguini, S. (2024). The potential of microalgae for carbon capture and sequestration. *EFB Bioeconomy Journal*, Volume 4, November 2024. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667041024000053>
- Fundación Chile (2025). Iniciativa Carbono Azul. <https://fch.cl/iniciativa/carbono-azul/>
- Genomica (2024). *¿Podría el ADN flotante resolver el misterio del carbono de las algas? Sostenibilidad, Algas Marinas*. <https://es.thefishsite.com/articulos/podr%C3%ADa-el-adn-flotante-resolver-el-misterio-del-carbono-de-las-algas>
- Goswami, R. K.; Mehariya, S. y Verma, P. (2024). Advances in microalgae-based carbon sequestration: Current status and future perspectives. *Environmental Research*, Volume 249. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013935124003013>
- Greenfield, E. (2022). Papel de las algas en la captura de carbono. *SigmaEarth*. https://sigmaearth.com/es/Papel-de-las-algas-en-la-captura-de-carbono./#google_vignette
- Guajardo, C. (2024). *Carbono azul y el potencial de las algas frente al cambio climático*. Green Network. <https://greennetwork.cl/biodiversidad/carbono-azul-y-el-potencial-de-las-algas-frente-al-cambio-climatico/>
- I'MNOVATION (2024). *Secuestro de carbono: Islandia acogerá la mayor planta de su clase en el mundo*. <https://www.imnovation-hub.com/es/ciencia-y-tecnologia/secuestro-carbono-planta-islandia/>
- Iturra, F. (2024). Primer proyecto de carbono azul en Chile: usan algas para rehabilitar ecosistema marino y reducir CO₂. *Aquí Tierra*. <https://www.biobiochile.cl/especial/aqui-tierra/noticias/2024/01/17/primer-proyecto-de-carbono-azul-en-chile-usan-algas-para-rehabilitar-ecosistema-marino-y-reducir-CO2.shtml>
- Kelp Forest Foundation. Países Bajos (2025). *El cultivo de algas marinas como sumidero de carbono*. <https://oceanecade.org/es/actions/offshore-kelp-cultivation-as-a-carbon%20sink/#:~:text=Las%20algas%20absorben%20grandes%20cantidades,los%201.000%20metros%20de%20%20profundidad.>
- Kirby, G. (2023). *Green dreams: algae emerge as a game-changer in the race to net zero*. Australia's National Science Agency. <https://www.csiro.au/en/news/all/articles/2023/october/algae-slashing-emissions>
- Koka, J. (2022). How can we further reduce CO₂ emissions? New study reveals algae can help. *Argonne National Laboratory*. <https://www.anl.gov/article/how-can-we-further-reduce-CO2-emissions-new-study-reveals-algae-can-help>

- La actualidad canadiense en siete lenguas (2023). *Científicos recomiendan el cultivo de algas para luchar contra el cambio climático*. <https://ici.radio-canada.ca/rci/es/noticia/2012900/cientificos-recomiendan-algas-luchar-cambio-climatico>
- Lindsey, R. (2024). *Climate Change: Atmospheric Carbon Dioxide*. <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-atmospheric-carbon-dioxide>
- Okeke, E., Ejeromedoghene, O., Okoye, C., Prince, T., Ezeorba, C., Nyaruaba, R., Ikechukwu, C., Oladipo, A. & Orege, J. (2022). Microalgae biorefinery: An integrated route for the sustainable production of high-value-added products. *Energy Conversion and Management*, Volume 16. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590174522001465>
- Onyeaka, H., Miri, T., Obileke, K., Hart, A., Anumudu, C. & Al-Sharify, Z. (2021). Minimizing carbon footprint via microalgae as a biological capture. *Carbon Capture Science & Technology*, Volume 1. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772656821000075#:~:text=It%20has%20been%20reported%20that,ecosystem%20could%20be%20slowed%20down>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2020). *Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales de la FAO. Una nueva perspectiva 2020*. <https://www.fao.org/interactive/forest-resources-assessment/2020/es/>
- Page, T. (2023). *Cultivar y enterrar algas en el Sahara, una solución novedosa contra la crisis climática*. CNN Mundo. <https://cnnespanol.cnn.com/2023/08/18/cultivar-enterrar-algas-sahara-CO2-crisis-climatica-trax>
- San Mateo County Carbon (2022). *Sequestration with Algae Some types of algae can take carbon from the atmosphere*. https://sustainablesanmateo.org/wp-content/uploads/2024/01/Carbon-Sequestration-with-Algae_202209.pdf
- Statista (2025). *Nivel promedio de dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera entre 1959 y 2023*. Energía y Medio Ambiente. <https://es.statista.com/estadisticas/1269928/concentracion-atmosferica-global-de-dioxido-de-carbono/>
- Statista (2023). *Estimated cost ranges for carbon capture and storage (CSS) and carbon dioxide removal (CDR) solutions as of 2023, by approach or technology*. Energy & Environment, Environmental Technology & Greentech. <https://www.statista.com/statistics/1304575/global-carbon-capture-cost-by-technology/>
- STOREG@A (2025). *Microalgae Global Market Report 2025*. <https://www.thebusinessresearchcompany.com/report/microalgae-global-market-report>
- STOREG@A (2025). *Analysis: Carbon Capture Methods, Compared*. <https://storegga.earth/blog/carbon-capture-methods-compared>
- Strong, S. (2023). Research Advances Toward Goal of Net Zero Carbon Emissions. *Science, Energy and Innovation*, University of Houston. <https://uh.edu/news-events/stories/2023/october-2023/10252023-algae-climate-CO2algae-climate-CO2.php>
- World Economic Forum (2025). *Tres soluciones basadas en la naturaleza para secuestrar carbono hoy*. <https://es.weforum.org/stories/2023/10/3-soluciones-basadas-en-la-naturaleza-para-secuestrar-carbono-ahora-mismo/>

Declaración de conflicto de interés y originalidad

Conforme a lo estipulado en el *Código de ética y buenas prácticas* publicado en **PetroRenova Indexed, Revista Científica de la Energía**, la autora **Castro Mora, Marianto**, declara al *Comité Editorial* que no tiene situaciones que representen conflicto de interés real, potencial o evidente, de carácter académico, financiero, intelectual o con derechos de propiedad intelectual relacionados con el contenido del artículo: **Potencial de las algas y la naturaleza en el secuestro de carbono**, en relación con su publicación. De igual manera, declara que el trabajo es original, no ha sido publicado parcial ni totalmente en otro medio de difusión, no se utilizaron ideas, formulaciones, citas o ilustraciones diversas, extraídas de distintas fuentes, sin mencionar de forma clara y estricta su origen y sin ser referenciadas debidamente en la bibliografía correspondiente. Consiente que el Comité Editorial aplique cualquier sistema de detección de plagio para verificar su originalidad.

Para citar este artículo (APA):

Castro Mora, M. (2025). Potencial de las algas y la naturaleza en el secuestro de carbono. *PetroRenova, Revista Científica de la Energía*. Vol. 1, núm. 1, abril-junio, 2025.