



ALLIANCE™

(<https://www.globalseafood.org>).



 Responsibility

Un enfoque de economía circular para transformar el futuro de la acuicultura marina

9 January 2023

By Charles H. Greene, Ph.D.

La acuicultura basada en algas marinas puede ayudar con las demandas nutricionales futuras y mejorar la sostenibilidad ambiental



Los autores analizaron un enfoque de economía circular para transformar el futuro de la acuicultura marina y concluyeron que la acuicultura basada en microalgas marinas tiene el potencial de proporcionar más del 100 por ciento de la demanda mundial de proteínas para 2050 y, al mismo tiempo, reducir el impacto climático perjudicial y otros impactos ambientales de los actuales sistemas de producción de alimentos. Foto de una instalación de cultivo de microalgas a lo largo de la costa de Kona de la Isla Grande de Hawái por Cyanotech Corporation.

Para 2050, se proyecta que la población mundial se acerque a los 10 mil millones de personas. Se prevé que la producción mundial de alimentos deberá aumentar hasta en un 56 por ciento para satisfacer las demandas nutricionales de esta población creciente y cada vez más próspera. Pero incluso la producción de alimentos actual es insostenible e insuficiente.

En tierra, la agricultura proporciona la columna vertebral del sistema mundial de producción de alimentos; sin embargo, sus beneficios se obtienen a expensas de los impactos negativos sobre el uso de la tierra y las emisiones de carbono (Fig. 1), así como sobre los recursos de agua dulce y la biodiversidad. Si buscamos en el océano fuentes de nutrición, la mayoría de las pesquerías de captura silvestre ya están totalmente explotadas o sobre-explotadas, y las prácticas acuícolas marinas actuales no están suficientemente desarrolladas para cerrar la brecha entre la oferta y la demanda nutricional. Además, ambos suelen plantear problemas ambientales y de justicia social comparables a los de la agricultura terrestre.

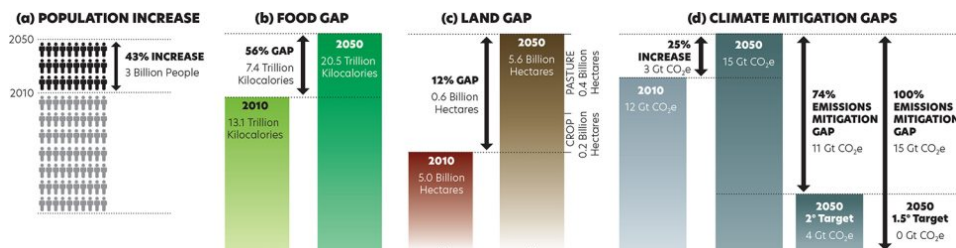


Fig. 1: Aumento proyectado de la población mundial de 2010 a 2050 y las correspondientes brechas proyectadas en la producción de alimentos agrícolas, el uso de la tierra y la mitigación climática. Todas las proyecciones se basan en los datos reportados en el informe del Instituto de Recursos Mundiales (2019)

(<https://www.wri.org/research/creating-sustainable-food-future>). (a)

El aumento de población proyectado es de 3 mil millones de personas,

un aumento del 43 por ciento. (b) La brecha alimentaria agrícola proyectada, suponiendo un escenario normal y medido en energía requerida de todos los cultivos destinados al consumo humano directo, alimentación animal, usos industriales, semillas y

biocombustibles, es de 7,4 billones de kilocalorías, un aumento del 56 por ciento. (c) La brecha de tierra agrícola proyectada, asumiendo un escenario de negocios como de costumbre y medido en el área de tierra requerida para apoyar toda la producción agrícola de alimentos, es de 400 millones de hectáreas de pastizales y 200 millones de hectáreas de tierras de cultivo, un aumento total del 12 por ciento.

Tenga en cuenta la línea de base distinta de cero en este panel. (d) Las brechas de mitigación climática agrícola proyectadas son las diferencias entre el nivel proyectado de emisiones de gases de efecto invernadero en 2050 y los niveles de emisión necesarios para lograr los objetivos de aumento de temperatura estabilizada del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático de 1,5 y 2,0 grados-C. El aumento proyectado de las emisiones de gases de efecto invernadero, suponiendo un escenario habitual y medido en equivalentes de CO₂ emitidos por el propio proceso de producción de alimentos y el cambio de uso de la tierra, es de 3 Gt CO₂e, un aumento del 25 por ciento.

Fuente: <https://doi.org/10.1126/science.1185383>.

Actualmente, se estima que una cuarta parte de la población mundial está desnutrida, con dos mil millones de personas que consumen dietas deficientes en micro-nutrientes y más de 800 millones de personas que no pueden obtener suficientes calorías para satisfacer sus necesidades mínimas de energía diaria. La distribución y el desperdicio de alimentos son una parte importante del problema actual; sin embargo, incluso las mejoras en esas áreas para 2050 serán inadecuadas para alimentar a tres mil millones de personas adicionales, la mayoría de las cuales habitarán en países en desarrollo. Para asegurar un suministro adecuado de alimentos durante la segunda mitad del Siglo XXI, la sociedad deberá intensificar significativamente la producción de su sistema de producción de alimentos y, al mismo tiempo, reducir sus impactos perjudiciales en el medio ambiente mundial.

Dadas las limitaciones para aumentar la producción agrícola, se están explorando muchas opciones alimentarias alternativas para evaluar cómo la sociedad podría intensificar de manera sostenible su sistema de producción de alimentos. Entre las opciones marinas de “alimento azul”, la acuicultura ha atraído mucha atención, principalmente porque la expansión de la pesca de captura silvestre no podrá satisfacer la creciente demanda. Sin embargo, la expansión de la acuicultura marina tal como se practica actualmente también tiene límites finitos. **Belton et al.** (<https://doi.org/10.1038/s41467-020-19679-9>) argumentan que el potencial para intensificar la producción mundial de alimentos a través de la acuicultura de mariscos marinos y peces es mucho más limitado de lo que afirman sus defensores. Estos autores concluyen que el futuro de la acuicultura está en los peces de agua dulce y que las expectativas de la sociedad sobre la producción de fuentes de acuicultura marina deben reducirse.

Mientras que Belton et al. destacan varios temas importantes, no estamos de acuerdo con su conclusión principal sobre los límites de la acuicultura marina. Una revisión reciente de **Naylor et al.** (<https://doi.org/10.1038/s41586-021-03308-6>) confirma el predominio de la producción de peces de agua dulce en el mercado acuícola mundial: en 2017, representó el 75 por ciento de las 112 toneladas métricas de volumen de peso vivo producido. Sin embargo, durante los 20 años transcurridos desde una revisión anterior de **Naylor et al.** (<https://doi.org/10.1038/35016500>), la acuicultura basada en algas marinas ha crecido rápidamente, habiendo producido 32 toneladas métricas en 2017, comparable a la de todos los sectores de la acuicultura en 1997 (34 toneladas métricas).

Este rápido crecimiento, principalmente en forma de macroalgas, destaca el gran potencial de la acuicultura basada en algas marinas para una mayor expansión. Además, aunque ha habido cierto desarrollo comercial de microalgas en mercados de alimentos nicho y nutracéuticos a pequeña escala, ha habido una penetración limitada en los mercados de alimentos, alimentos para animales y productos básicos para alimentos acuícolas. Con base en investigaciones recientes, creemos que existe un margen considerable para el crecimiento en el desarrollo de tales mercados de productos básicos nutricionales basados en microalgas.

En este artículo – adaptado y resumido de la **publicación original** (<https://doi.org/10.5670/oceanog.2022.213>) (Greene, C.H. et al. 2022. Transforming the future of marine aquaculture: A circular economy approach. *Oceanography* 35(2):26–34) – los autores exploran la hipótesis de que la acuicultura basada en las algas marinas tiene el potencial de cerrar la brecha proyectada en las demandas nutricionales futuras de la humanidad y puede hacerlo al mismo tiempo que reduce el clima perjudicial y otros impactos ambientales del sistema actual de producción de alimentos.

En octubre de 2020, Ocean Visions Consortium estableció el grupo **Marine Circular Bioeconomy** (<https://oceanvisions.org/%E2%80%8Bour-%E2%80%8Bprograms/%E2%80%8Bmarine-%E2%80%8Bcircular-%E2%80%8Bbioeconomy/>). (Grupo de Trabajo de Bioeconomía Circular Marina, MCB) para explorar el potencial de la acuicultura marina para intensificar de manera sostenible la producción mundial de alimentos. El grupo de trabajo de MCB emplea un enfoque de economía circular que enfatiza la reducción de la extracción de nuevos recursos y el aumento del procesamiento y el reciclaje al final del uso. En contraste con el modelo lineal de “tomar-hacer-botar,” el modelo de economía circular es regenerativo por diseño y tiene como objetivo desvincular el desarrollo económico de la extracción de recursos finitos.

Aplicado a la acuicultura marina (Fig. 2), el enfoque de economía circular permite el seguimiento y la cuantificación de las entradas de energía y los flujos, el reciclaje y la re-utilización de materiales. Permite la visualización de oportunidades para reducir el consumo de nuevos recursos y, a través del reciclaje y la re-utilización, la producción de productos de desecho. También permite la visualización de oportunidades para combinar procesos en formas novedosas y más eficientes para mejorar la co-producción de alimentos y energía, así como la captura, almacenamiento y utilización de dióxido de carbono.

Actualmente, se estima que una cuarta parte de la población mundial está desnutrida, con dos mil millones de personas que consumen dietas deficientes en micro-nutrientes y más de 800 millones de personas que no pueden obtener suficientes calorías para satisfacer sus necesidades mínimas de energía diaria. La distribución y el desperdicio de alimentos son una parte importante del problema actual; sin embargo, incluso las mejoras en esas áreas para 2050 serán inadecuadas para alimentar a tres mil millones de personas adicionales, la mayoría de las cuales habitarán en países en desarrollo. Para asegurar un suministro adecuado de alimentos durante la segunda mitad del Siglo XXI, la sociedad deberá intensificar significativamente la producción de su sistema de producción de alimentos y, al mismo tiempo, reducir sus impactos perjudiciales en el medio ambiente mundial.

Dadas las limitaciones para aumentar la producción agrícola, se están explorando muchas opciones alimentarias alternativas para evaluar cómo la sociedad podría intensificar de manera sostenible su sistema de producción de alimentos. Entre las opciones marinas de "alimento azul", la acuicultura ha atraído mucha atención, principalmente porque la expansión de la pesca de captura silvestre no podrá satisfacer la creciente demanda. Sin embargo, la expansión de la acuicultura marina tal como se practica actualmente también tiene límites finitos. **Belton et al.** (<https://doi.org/10.1038/s41467-020-19679-9>) argumentan que el potencial para intensificar la producción mundial de alimentos a través de la acuicultura de mariscos marinos y peces es mucho más limitado de lo que afirman sus defensores. Estos autores concluyen que el futuro de la acuicultura está en los peces de agua dulce y que las expectativas de la sociedad sobre la producción de fuentes de acuicultura marina deben reducirse.

Mientras que Belton et al. destacan varios temas importantes, no estamos de acuerdo con su conclusión principal sobre los límites de la acuicultura marina. Una revisión reciente de **Naylor et al.** (<https://doi.org/10.1038/s41586-021-03308-6>) confirma el predominio de la producción de peces de agua dulce en el mercado acuícola mundial: en 2017, representó el 75 por ciento de las 112 toneladas métricas de volumen de peso vivo producido. Sin embargo, durante los 20 años transcurridos desde una revisión anterior de **Naylor et al.** (<https://doi.org/10.1038/35016500>), la acuicultura basada en algas marinas ha crecido rápidamente, habiendo producido 32 toneladas métricas en 2017, comparable a la de todos los sectores de la acuicultura en 1997 (34 toneladas métricas).

Este rápido crecimiento, principalmente en forma de macroalgas, destaca el gran potencial de la acuicultura basada en algas marinas para una mayor expansión. Además, aunque ha habido cierto desarrollo comercial de microalgas en mercados de alimentos nicho y nutracéuticos a pequeña escala, ha habido una penetración limitada en los mercados de alimentos, alimentos para animales y productos básicos para alimentos acuícolas. Con base en investigaciones recientes, creemos que existe un margen considerable para el crecimiento en el desarrollo de tales mercados de productos básicos nutricionales basados en microalgas.

En este artículo – adaptado y resumido de la **publicación original** (<https://doi.org/10.5670/oceanog.2022.213>) (Greene, C.H. et al. 2022. Transforming the future of marine aquaculture: A circular economy approach. *Oceanography* 35(2):26–34) – los autores exploran la hipótesis de que la acuicultura basada en las algas marinas tiene el potencial de cerrar la brecha

proyectada en las demandas nutricionales futuras de la humanidad y puede hacerlo al mismo tiempo que reduce el clima perjudicial y otros impactos ambientales del sistema actual de producción de alimentos.

En octubre de 2020, Ocean Visions Consortium estableció el grupo **Marine Circular Bioeconomy** (<https://oceanvisions.org/%E2%80%8Bbour-%E2%80%8Bprograms/%E2%80%8Bmarine-%E2%80%8Bcircular-%E2%80%8Bbioeconomy/>). (Grupo de Trabajo de Bioeconomía Circular Marina, MCB) para explorar el potencial de la acuicultura marina para intensificar de manera sostenible la producción mundial de alimentos. El grupo de trabajo de MCB emplea un enfoque de economía circular que enfatiza la reducción de la extracción de nuevos recursos y el aumento del procesamiento y el reciclaje al final del uso. En contraste con el modelo lineal de “tomar-hacer-botar,” el modelo de economía circular es regenerativo por diseño y tiene como objetivo desvincular el desarrollo económico de la extracción de recursos finitos.

Aplicado a la acuicultura marina (Fig. 2), el enfoque de economía circular permite el seguimiento y la cuantificación de las entradas de energía y los flujos, el reciclaje y la re-utilización de materiales. Permite la visualización de oportunidades para reducir el consumo de nuevos recursos y, a través del reciclaje y la re-utilización, la producción de productos de desecho. También permite la visualización de oportunidades para combinar procesos en formas novedosas y más eficientes para mejorar la co-producción de alimentos y energía, así como la captura, almacenamiento y utilización de dióxido de carbono.

Un desafío del siglo XXI: ampliar la extensión espacial y la utilización del carbono azul

Actualmente, el océano representa aproximadamente la mitad de la producción primaria mundial anual de la Tierra, **~50 gigatoneladas** (<https://doi.org/10.1126/science.281.5374.237>), de carbono por año. A diferencia de la producción primaria terrestre, muy poco de este carbono azul autótrofo llega al sistema de producción de alimentos humanos. La mayor parte de la producción primaria del océano la llevan a cabo pequeñas algas planctónicas en el océano abierto, donde la productividad por unidad de área es relativamente baja y las cadenas alimentarias son relativamente largas. Ambos factores imponen limitaciones a la contribución potencial de los ecosistemas de mar abierto a la nutrición humana.

En contraste con el océano abierto, los ecosistemas marinos costeros tienen una productividad primaria por unidad de área mucho más alta y cadenas alimentarias más cortas, especialmente en las regiones de afloramiento. Estos factores explican los ecosistemas oceánicos costeros que proporcionan la gran mayoría de la pesca de captura silvestre del mundo. Además, el océano costero alberga lechos de macroalgas bénticas y bosques de algas marinas, así como ecosistemas de carbono azul de manglares, marismas y pastos marinos. A pesar de su alta productividad por unidad de área y su gran capacidad de almacenamiento de carbono, estos ecosistemas de macroalgas y de carbono azul ocupan menos del 1 por ciento de la superficie terrestre (Fig. 3). Por lo tanto, aunque contribuyen con una gran fracción de la producción primaria en los ambientes costeros cercanos a la costa, estos ecosistemas hacen contribuciones relativamente pequeñas a la producción primaria anual total del océano y al secuestro de carbono.

Un desafío principal para la acuicultura basada en algas marinas en las próximas décadas es aumentar la cantidad de carbono azul autótrofo que ingresa al sistema de producción de alimentos humanos. En la actualidad, la mayor parte de la acuicultura marina está confinada al océano costero. Debido a que el océano costero solo representa aproximadamente el 11 por ciento de la superficie terrestre (Fig. 3), esto impone una restricción fundamental sobre la contribución potencial de la

Fig. 2: El concepto de Bioeconomía Circular Marina aplicado a la acuicultura marina. DAC = captura directa del aire. BECCS = bioenergía con captura y almacenamiento de carbono.

acuicultura marina actual a la nutrición humana. Esta contribución potencial está aún más restringida por las muchas otras actividades humanas en el océano costero que reducen el área espacial disponible para la acuicultura marina.

Una solución a este desafío es aumentar la extensión espacial de la acuicultura basada en algas marinas. Esto se puede hacer ampliando la huella de las instalaciones de acuicultura marina tanto en tierra como en alta mar. En comparación con el cultivo de micro- y macroalgas en tierra, el desarrollo tecnológico de las instalaciones de acuicultura más lejos de la costa, en aguas oceánicas más profundas, es menos maduro.

El principal desafío para la construcción de dichas instalaciones es la necesidad de tecnologías novedosas que puedan resistir la exposición a las mayores fuerzas hidrodinámicas del entorno oceánico sin incurrir en costos de capital y operativos que son prohibitivamente costosos. Ni China, el líder mundial en acuicultura de macroalgas marinas, ni la Unión Europea han realizado inversiones significativas en investigación y desarrollo en esta área. Se han realizado avances recientes en los Estados Unidos a través del programa ARPA-E Macroalgae Research Inspiring Novel Energy Resources (**MARINER** (<https://arpa-e.energy.gov/technologies/%E2%80%8Bprograms/mariner>)). Sin embargo, se requerirá investigación y desarrollo sostenidos, incluida la evaluación de los posibles impactos

Una solución a este desafío es aumentar la extensión espacial de la acuicultura basada en algas marinas. Esto se puede hacer ampliando la huella de las instalaciones de acuicultura marina tanto en tierra como en alta mar. En comparación con el cultivo de micro- y macroalgas en tierra, el desarrollo tecnológico de las instalaciones de acuicultura más lejos de la costa, en aguas oceánicas más profundas, es menos maduro.

ambientales por parte de **Boyd et al.** (<https://doi.org/10.1038/s41559-022-01722-1>), para que la acuicultura oceánica en alta mar sea comercialmente viable y escalable a nivel mundial.

Ventajas nutricionales y de sostenibilidad de la acuicultura basada en microalgas marinas

En contraste con la acuicultura oceánica en alta mar, existe una rica historia de 50 años de desarrollo de instalaciones de acuicultura en tierra para el cultivo de microalgas marinas y de agua dulce. Aunque el enfoque de la acuicultura basada en microalgas fue originalmente en la producción de biocombustibles y nutracéuticos, la investigación en el campo ha evolucionado más recientemente para investigar el potencial de las microalgas para producir alimentos para animales y acuícolas, así como alimentos para el consumo humano directo.

La producción de alimentos a partir de microalgas marinas cultivadas en instalaciones de acuicultura en tierra ofrece varias ventajas nutricionales y de sostenibilidad ambiental en relación con la agricultura terrestre. Como grupo compuesto por miles de especies diferentes, en su mayoría no estudiadas, las microalgas marinas representan una fuente potencialmente grande y sin explotar de proteínas nutricionales de alta calidad. Aunque el rango es grande, muchas especies poseen un contenido de proteína superior al 40 por ciento de su masa seca. Además, en relación con las plantas terrestres, las microalgas marinas proporcionan una mejor fuente de aminoácidos esenciales y otros micronutrientes, como vitaminas, antioxidantes, ácidos grasos poliinsaturados omega-3 y minerales.

En términos de ventajas directas de sostenibilidad ambiental, las microalgas exhiben tasas de producción primaria que suelen ser más de un orden de magnitud mayores que los cultivos terrestres más productivos. Por lo tanto, con respecto al uso de la tierra, el cultivo de microalgas marinas en instalaciones de acuicultura en tierra tiene el potencial de producir una cantidad equivalente de alimentos en menos de una décima parte de la superficie terrestre. Además, debido a que las microalgas marinas no requieren suelo ni riego, su cultivo no necesita competir con la agricultura y otras partes interesadas por las tierras cultivables y el agua dulce (Fig. 4). Por último, debido a que el cultivo de microalgas marinas es muy eficiente en el uso de nutrientes, perdiendo solo aquellos nutrientes que se cosechan en los productos deseados, los problemas asociados con el exceso de escorrentía de fertilizantes y la posterior eutrofización de los ecosistemas acuáticos y marinos pueden minimizarse.

Fig. 4: Las huellas de tierra y agua dulce para la producción de aminoácidos esenciales a partir de diversas fuentes nutricionales.

Todas las estimaciones se basan en datos reportados por Moomaw et

al. (<https://doi.org/10.1089/ind.2017.29102.wmo>). Las huellas de tierra se presentan en hectáreas por tonelada métrica de producto. Las huellas de agua dulce se reportan en metros cúbicos de agua dulce por tonelada métrica de producto.

También se debe señalar el potencial de ventajas de sostenibilidad ambiental menos directas. Al reducir la demanda agrícola de tierra cultivable, el cultivo de microalgas marinas tiene el potencial de reducir notablemente las emisiones de gases de efecto invernadero y la pérdida de biodiversidad. Por ejemplo, durante los últimos 50 años, aproximadamente una quinta parte de la selva Amazónica ha sido talada, principalmente para pastos de ganado y cultivos de soya. Esta deforestación ha sido tan extensa que la Amazonía ha pasado recientemente de ser **un sumidero de carbono de importancia mundial a una fuente neta de carbono** (<https://doi.org/10.1038/s41586-021-03629-6>). Además, existe una preocupación creciente de que las interacciones adicionales entre la deforestación y el cambio climático puedan obligar a la selva Amazónica a cruzar un punto de inflexión que pondrá en peligro las más de **120 Gt of carbon** (<https://doi.org/10.1038/s41558-022-01287-8>) almacenadas en su biomasa aérea y subterránea, así como su notable biodiversidad

Retos de sostenibilidad para la acuicultura basada en microalgas marinas

Si bien las ventajas potenciales de sostenibilidad ambiental de la acuicultura basada en microalgas marinas son excelentes, los desafíos de ampliarla a nivel mundial también son importantes. Si bien hay grandes áreas de tierra adecuada con topografía adecuada e insolación disponibles en los trópicos y subtrópicos, las instalaciones de cultivo deben estar lo suficientemente cerca de las fuentes de agua de mar o agua salobre para evitar costos de transporte excesivos (Fig. 5).

Más desafiante que encontrar un terreno adecuado es el requisito de dióxido de carbono. Cuando crecen rápidamente, las microalgas absorben dióxido de carbono más rápido de lo que puede difundirse a través de la interfaz aire-agua de los estanques de cultivo abiertos. Hay que añadir dióxido de carbono a los estanques y mantener bajos los costes de suministro de este gas, tanto energéticos como económicos. Idealmente, el dióxido de carbono debería producirse in situ a partir de fuentes de carbono no fósiles. Varios autores han sugerido que esto podría lograrse integrando instalaciones de cultivo de microalgas con captura directa de aire o bioenergía con tecnologías de captura y almacenamiento de carbono. Los enfoques DAC actuales son prohibitivamente costosos para este propósito; sin embargo, la integración de DAC con energía solar concentrada u otras tecnologías emergentes de energía renovable podría proporcionar un enfoque rentable para generar energía y capturar dióxido de carbono simultáneamente.

Proporcionar nutrientes para el cultivo de microalgas marinas a escala mundial también presenta un desafío formidable, especialmente en lo que respecta al fósforo. La comunidad científica ha pasado poco más de una década tratando de predecir cuándo la agricultura global se verá limitada por el “pico de fósforo,” y el cultivo de microalgas no será inmune a tal restricción. De hecho, los requisitos de nutrientes estequiométricos para las microalgas amplifican este desafío de fósforo. Afortunadamente, la eficiencia del uso de nutrientes mencionado anteriormente (es decir, sin escorrentía de fertilizantes) combinada con el potencial de reciclaje de nutrientes a través del tratamiento de aguas residuales a base de algas hace que el desafío sea menos abrumador. La recuperación y reutilización del fósforo de los flujos de desechos es el tipo de desafío que el **enfoque de la economía circular** (<https://doi.org/10.1007/s13165-020-00337-9>), está bien posicionado para abordar.

Fig. 5: (a) Mapa global de producción potencial de biomasa de microalgas marinas en tierra basado en datos de radiación solar entrante anual y un modelo de crecimiento validado. (b) Mapa mundial de la

producción potencial de proteínas de microalgas marinas en tierra con restricciones establecidas por criterios ambientales adicionales, incluida la topografía y el acceso al agua de mar.

Perspectivas

Nuestro análisis global de las áreas costeras aptas para la acuicultura basada en microalgas marinas revela que, incluso con suposiciones conservadoras, este sector sin explotar del sistema mundial de producción de alimentos tiene el potencial de proporcionar más del 100 por ciento de la demanda mundial de proteínas para 2050. Sin embargo, todas las áreas del mundo no son iguales cuando se trata de los requisitos geofísicos para el cultivo de microalgas marinas (Fig. 5). Nuestro análisis revela que gran parte del potencial de este sector se encuentra en el sur global. Si bien las vastas áreas continentales de Eurasia y América del Norte se han considerado tradicionalmente como el granero mundial de la sociedad, la acuicultura basada en microalgas marinas brinda una oportunidad para equilibrar mejor la producción de alimentos entre los dos hemisferios socio-económicos.

Las consideraciones geofísicas son necesarias, pero no son suficientes para asegurar la expansión de la acuicultura basada en microalgas marinas en el sur global. Las consideraciones financieras también deben sopesarse. Afortunadamente, los costos de la tierra y la mano de obra son relativamente económicos en el sur global y proporcionarán más incentivos para el desarrollo. Sin embargo, quizás el incentivo financiero más importante sea el **Green Climate Fund** (<https://www.greenclimate.fund/>). (Fondo Verde para el Clima). Adoptado formalmente durante la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (**COP 17** (<https://unfccc.int/event/cop-17>)) de 2011 en Durban, Sudáfrica, el Fondo Verde para el Clima se concibió originalmente como un mecanismo para que los países más ricos ayuden a los países en desarrollo en sus esfuerzos por mitigar y adaptarse a los efectos del cambio climático.

La implementación del Fondo Verde para el Clima ha sido difícil porque los incentivos para que los países más ricos contribuyan han sido modestos, especialmente en lo que respecta a las medidas de adaptación. Sin embargo, la acuicultura basada en microalgas marinas puede ofrecer oportunidades de inversión mutuamente beneficiosas tanto para los países ricos como para los países en desarrollo al proporcionar mitigación climática y, al mismo tiempo, mejorar la seguridad alimentaria y del agua a nivel mundial.

Author



CHARLES H. GREENE, PH.D.

Corresponding author
Professor Emeritus

Department of Earth & Atmospheric Sciences, Cornell University, Ithaca, NY, USA; and
Senior Research Fellow, Friday Harbor Laboratories, University of Washington, Friday Harbor, Wash.,
USA

chg2@cornell.edu (<mailto:chg2@cornell.edu>).

Copyright © 2023 Global Seafood Alliance

All rights reserved.