

3.4. El poder de los productores primarios unicelulares

Pedro Cermeño, Carmen García-Comas, Caterina R. Giner, Ramiro Logares, Cèlia Marrasé, Ramon Massana, Carlos Pedrós-Alió, Maria Montserrat Sala, Rafel Simó, Javier Tamames, Sergio Vallina

El fitoplancton marino, que incluye tanto a las cianobacterias como a las microalgas, domina la producción primaria en dos tercios de la superficie de la Tierra, sustentando prácticamente toda la vida marina y ejerciendo un control fundamental sobre el clima global mediante el secuestro de carbono en las profundidades del océano. Estos productores primarios unicelulares son responsables de aproximadamente el 50% de la producción primaria neta mundial, lo que equivale a producir cincuenta gigatoneladas de carbono orgánico (C) al año (alrededor de 140 millones de toneladas al día). El fitoplancton produce una cantidad enorme de C orgánico a pesar de representar solo el 1-2% de la biomasa fotosintética de la Tierra, lo que pone de manifiesto sus extraordinariamente altas tasas de renovación. Casi toda la biomasa del fitoplancton que se encuentra ahora mismo en los océanos del mundo se consumirá y se producirá nuevamente en aproximadamente una semana. A diferencia de los ecosistemas terrestres, donde la biomasa vegetal domina el paisaje (imagine una exuberante selva tropical), las comunidades marinas están dominadas por microorganismos heterótrofos, tales como bacterias, protozoos, ciliados y pequeños crustáceos, cuya biomasa global excede hasta en cinco veces la biomasa de los productores primarios marinos (Bar-On *et al.* 2018). Este patrón inverso de distribución de biomasa es una de las características más destacadas de los ecosistemas de plancton oceánico, los cuales dependen de la actividad de microorganismos heterótrofos para reciclar la biomasa

fotosintética y reponer los nutrientes que necesita el fitoplancton para crecer. Este estrecho acoplamiento entre los productores primarios y los recicladores forma la conocida como cadena trófica microbiana (Azam y Malfatti 2007), que mantiene los ecosistemas de plancton oceánico cerca del estado estacionario. Sin embargo, en algunos casos, las corrientes oceánicas, la escorrentía continental o las tormentas de polvo, entre otros eventos, traen nuevos nutrientes a la superficie, impulsando la productividad primaria y alejando los ecosistemas de plancton del estado de equilibrio. Debido a que la producción primaria marina incorpora aproximadamente 6,6 moles de dióxido de carbono (CO_2) por cada mol de nitrógeno, la entrada de nuevos nutrientes a la capa iluminada del océano reduce la concentración de CO_2 disuelto en las aguas superficiales. La producción primaria «nueva» resultante, para diferenciarla de la producción primaria ‘reciclada’, pilla por sorpresa a los heterótrofos que no pueden consumir instantáneamente el exceso de producción primaria. Como resultado, la mayor parte de esta producción primaria «nueva» termina siendo exportada a las profundidades del océano. Este fenómeno, denominado bomba biológica, genera un déficit de CO_2 en la superficie del océano, que se compensa con la absorción de CO_2 de la atmósfera. De esta forma, la bomba biológica del océano ayuda a mitigar el efecto invernadero y a enfriar el clima de la Tierra.

Comprender el funcionamiento ecológico y biogeoquímico de los ecosistemas de plancton

es clave para aprovechar el poder de los productores primarios unicelulares en el desarrollo de soluciones que ayuden a abordar algunos de los desafíos actuales que enfrenta nuestra sociedad, como el calentamiento global o la escasez de alimentos. Debido a que muchas de estas soluciones requieren acelerar los procesos naturales, antes de explicar cómo los productores primarios unicelulares podrían contribuir a este reto global, comencemos por ilustrar cómo influenciaron la vida en la Tierra en el pasado geológico. En última instancia, el objetivo es condensar en décadas/siglos los cambios que la naturaleza tardó cientos de miles de años en lograr.

El poderoso plancton

Existen dos mecanismos capaces de aumentar el potencial biológico del océano para impulsar la producción primaria, alimentando las redes tróficas marinas y reduciendo la concentración de CO₂ en la atmósfera. El primero consiste en un aumento en la cantidad de nutrientes inorgánicos en las aguas de los océanos. Debido a que la producción primaria en muchas regiones del océano está limitada por la disponibilidad de nutrientes esenciales, como nitrógeno, fósforo o hierro, un aumento en el suministro de nutrientes al océano habría impulsado la producción primaria oceánica global, así como la fracción de la producción primaria que habría sido transferida hacia niveles tróficos superiores y las profundidades del océano. El segundo mecanismo tiene que ver con cambios en la estequiometría de la biomasa de fitoplancton y del material detrítico con respecto a lo descrito por Alfred C. Redfield, quien encontró que las proporciones de carbono (C): nitrógeno (N): fósforo (P) toman valores relativamente constantes de 106:16:1 en todos los océanos del mundo, tanto en la biomasa de fitoplancton como en los nutrientes disueltos en las aguas profundas. Un aumento en estas proporciones elementales implicaría un aumento en la cantidad de C exportado por unidad de N o P que entra en la superficie iluminada del océano. Hay evidencia de que estos dos mecanismos han operado a lo largo de millones de años (Falkowski 2012), i) aumentando la producción primaria «nueva», ii)

promoviendo la formación de vastos depósitos de petróleo y gas, y iii) ayudando a enfriar el clima de la Tierra.

El futuro del cultivo de microalgas

Nuestro profundo conocimiento de los ecosistemas marinos nos brinda, como científicos marinos, la capacidad de desarrollar soluciones inteligentes con las que abordar algunos de los actuales retos sociales y ambientales. Durante siglos, la agricultura convencional ha tratado de impedir el colapso de los cultivos, a menudo arruinados por plagas y enfermedades. Décadas de investigación agrícola han permitido el desarrollo de medidas de protección de cultivos que han dado como resultado rendimientos de producción previamente impensables. Por ejemplo, la productividad del maíz (es decir, la producción de maíz por unidad de tierra utilizada) se ha quintuplicado en los últimos ochenta

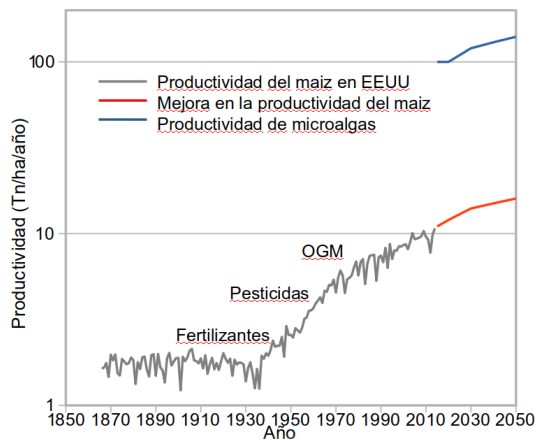


Figura 1. Productividad promedio del maíz en los Estados Unidos de 1866 a 2014, según los datos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) y la FAO de las Naciones Unidas. La productividad (rendimiento) promedio del maíz en los Estados Unidos se mantuvo relativamente estable durante la década de 1800 hasta la década de 1930. En el período desde 1940, la productividad se ha multiplicado por más de cinco gracias a la mejora en los sistemas de riego, los fertilizantes, la mejora en el manejo de plagas y el desarrollo de organismos genéticamente modificados (OGM). La productividad de los sistemas de producción de microalgas es un orden de magnitud más alta que la productividad actual del maíz y se espera que aumenten sustancialmente a medida que la tecnología de cultivo de microalgas, actualmente subdesarrollada, mejore la productividad de las cepas y la resistencia a las plagas.

años, gracias, en cierta medida, a los avances en el manejo de las plagas (figura 1). Los productores primarios unicelulares son de 3 a 4 veces más eficientes que las plantas terrestres a la hora de convertir la energía solar en biomasa y pueden lograr productividades por unidad de superficie hasta un orden de magnitud más altas (figura 1). Sin embargo, su uso como fuente sostenible de materia prima para la producción de alimentos, piensos o biocombustibles permanece sin explotar. El cultivo de microalgas utilizando aguas residuales o agua de mar tiene un potencial increíble para convertirse en una importante fuente de biomasa en el futuro, así como un eficiente sumidero del CO₂ resultante de los procesos industriales (Araújo *et al.* 2021). Sin embargo, el despliegue a gran escala del cultivo de microalgas adolece de los mismos problemas a los que la agricultura convencional se ha enfrentado durante siglos. Como se discutió en el párrafo inicial, los microorganismos heterótrofos pueden apoderarse de las comunidades de plancton en cuestión de días, lo que lleva al colapso de los sistemas de producción de biomasa de microalgas. Además, las cianobacterias y microalgas tienen enormes necesidades nutricionales (fertilizantes), lo que dificulta la expansión global del cultivo de algas para la producción en masa de productos básicos de bajo precio, como alimentos, piensos y biocombustibles. Proteger los cultivos de microalgas de los herbívoros, plagas y enfermedades, y encontrar formas de reabastecer los nutrientes y el CO₂ para mejorar, respectivamente, la producción primaria y la captura biológica de C es fundamental para que el cultivo de microalgas sea verdaderamente sostenible y rentable en las próximas décadas.

El advenimiento de nuevas tecnologías, como la genómica, ha permitido a los científicos marinos obtener una comprensión más profunda

de cómo los productores primarios unicelulares prosperan, mueren y se descomponen en los ecosistemas naturales de plancton (Pedrós-Alió 2006). Este conocimiento nos proporciona información extremadamente valiosa para explorar formas de acelerar los procesos naturales y ayudar a i) proporcionar una fuente sostenible de biomasa y ii) reducir el CO₂ atmosférico emitido por la quema de combustibles fósiles, capturándolo en forma de compuestos orgánicos refractarios, tal como lo ha estado haciendo la naturaleza desde el origen de la fotosíntesis oxigénica hace unos dos mil quinientos millones de años. Del mismo modo que la agricultura representó un cambio trascendental en la historia de la humanidad y de nuestro planeta, la expansión del cultivo de microalgas desempeñará un papel crucial en la evolución de nuestra sociedad hacia un planeta futuro más habitable.

Agradecimientos. Las ideas plasmadas en este ensayo forman parte de los objetivos del proyecto PRODIGIO 'Desarrollo de sistemas de alerta temprana para la mejora de la producción de microalgas y la digestión anaeróbica'. El proyecto PRODIGIO ha recibido financiación del programa de investigación e innovación Horizonte 2020 de la Unión Europea en virtud del acuerdo de subvención #101007006.

Referencias

- Araújo R., Vazquez Calderon F., Sánchez López J., *et al.* 2021. Current Status of the Algae Production Industry in Europe: An Emerging Sector of the Blue Bioeconomy. *Front. Mar. Sci.* 7: 626389.
- Azam F. Malfatti F. 2007. Microbial structuring of marine ecosystems. *Nature Rev. Microbiol.* 5: 782-791.
- Bar-On Y.M., Phillips R., Milo R. 2018. The biomass distribution on Earth. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* 115: 6506-6511.
- Falkowski P.G. 2012. Ocean sciences: The power of plankton. *Nature* 483: S17-S20.
- Pedrós-Alió C. 2006. Genomics and marine microbial ecology. *Int. Microbiol.* 9: 191-197.

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14078>