

3.4. El poder dels productors primaris unicel·lulars

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 fitoplàncton marí, que inclou tant als cianobacteris com a les microalgues, domina la producció primària en dos terços de la superfície de la Terra, sustentant pràcticament tota la vida marina i exercint un control fonamental sobre el clima global mitjançant el segrest de carboni en les profunditats de l'oceà. Aquests productors primaris unicel·lulars són responsables d'aproximadament el 50% de la producció primària neta mundial, la qual cosa equival a produir 50 gigatonnes de carboni orgànic (C) l'any (al voltant de 140 milions de tones al dia). El fitoplàncton produeix una quantitat enorme de C orgànic malgrat representar només el 1-2% de la biomassa fotosintètica de la Terra, la qual cosa posa de manifest les seves extraordinàriament altes taxes de renovació. Gairebé tota la biomassa del fitoplàncton que es troba ara mateix en els oceans del món es consumirà i es produirà novament en aproximadament una setmana. A diferència dels ecosistemes terrestres, on la biomassa vegetal domina el paisatge (imagini una exuberant selva tropical), les comunitats marines estan dominades per microorganismes heteròtrofs, com ara bacteris, protozous, ciliats i petits crustacis, la biomassa global dels quals excedeix fins a cinc vegades la biomassa dels productors primaris marins (Bar-On *et al.* 2018). Aquest patró invers de distribució de biomassa és una de les característiques més destacades dels ecosistemes de plàncton oceànic, els quals depenen de l'activitat de microorganismes heteròtrofs per a reciclar la biomassa fotosintètica i repo-

sar els nutrients que necessita el fitoplàncton per a créixer. Aquest estret acoblament entre els productors primaris i els recicladors forma la coneguda com a cadena tròfica microbiana (Azam i Malfatti 2007), que manté els ecosistemes de plàncton oceànic prop de l'estat estacionari. No obstant això, en alguns casos, els corrents oceànics, l'escolament continental o les tempestes de pols, entre altres esdeveniments, porten nous nutrients a la superfície, impulsen la productivitat primària i allunyen els ecosistemes de plàncton de l'estat d'equilibri. Pel fet que la producció primària marina incorpora aproximadament 6,6 mols de diòxid de carboni (CO₂) per cada mol de nitrogen, l'entrada de nous nutrients a la capa il·luminada de l'oceà redueix la concentració de CO₂ dissolt en les aigües superficials. La «nova» producció primària resultant, per a diferenciar-la de la producció primària 'reciclada', agafa per sorpresa als heteròtrofs que no poden consumir instantàniament l'excés de producció primària. Com a resultat, una gran fracció d'aquesta «nova» producció primària acaba sent exportada a les profunditats de l'oceà. Aquest fenomen, denominat bomba biològica, genera un dèficit de CO₂ en la superfície de l'oceà, que es compensa amb l'absorció de CO₂ de l'atmosfera. D'aquesta manera, la bomba biològica de l'oceà ajuda a mitigar l'efecte d'hivernacle i a refredar el clima de la Terra.

Comprendre el funcionament ecològic i biogeoquímic dels ecosistemes de plàncton és clau per a aprofitar el poder dels productors primaris

unicel·lulars en el desenvolupament de solucions que ajudin a abordar alguns dels desafiaments actuals que enfronta la nostra societat, com l'escalfament global o l'escassetat d'aliments. Pel fet que moltes d'aquestes solucions requereixen accelerar els processos naturals, abans d'explicar com els productors primaris unicel·lulars podrien contribuir a aquest esforç global, comencem per il·lustrar com van influenciar la vida en la Terra en el passat geològic. En última instància, l'objectiu és condensar en dècades/segles els canvis que la naturalesa va trigar centenars de milers d'anys a aconseguir.

El poderós plàncton

Es creu que dos mecanismes han augmentat el potencial biològic de l'oceà per a impulsar la producció primària, alimentant les xarxes tròfiques marines i reduint la concentració de CO₂ en l'atmosfera. El primer implica un augment en la quantitat de nutrients inorgànics en les aigües dels oceans. Pel fet que la producció primària en moltes regions de l'oceà està limitada per la disponibilitat de nutrients essencials, com a nitrogen, fòsfor o ferro, un augment en el subministrament de nutrients a l'oceà hauria impulsat la producció primària oceànica global, així com la fracció de la producció primària que hauria estat transferida cap a nivells tròfics superiors i les profunditats de l'oceà. El segon mecanisme té a veure amb canvis en l'este-quiometria de la biomassa de fitoplàncton i del material detrític respecte al descrit per Alfred C. Redfield, qui va trobar que les proporcions de carboni (C): nitrogen (N): fòsfor (P) prenen valors relativament constants de 106:16:1 en tots els oceans del món, tant en la biomassa de fitoplàncton com en els nutrients dissolts en les aigües profundes. Un augment en aquestes proporcions elementals implicaria un augment en la quantitat de C exportat per unitat de N o P que entra en la superfície il·luminada de l'oceà. Hi ha evidència que aquests dos mecanismes han estat funcionant en el passat geològic (Falkowski 2012), i) augmentant la producció primària exportada, ii) promovent la formació de vastos dipòsits de petroli i gas, i iii) ajudant a refredar el clima de la Terra.

El futur del cultiu de microalgues

El nostre profund coneixement dels ecosistemes marins ens brinda, com a científics marins, la capacitat de desenvolupar solucions intel·ligents amb les quals abordar alguns dels actuals reptes socials i ambientals. Durant segles, l'agricultura convencional ha tractat d'impedir el col·lapse dels cultius, sovint arruïnats per plagues i malalties. Dècades de recerca agrícola han permès el desenvolupament de mesures de protecció de cultius que han donat com a resultat rendiments de producció prèviament impensables. Per exemple, la productivitat del blat de moro (és a dir, la producció de blat de moro per unitat de terra utilitzada) s'ha quintuplicat en els últims vuitanta anys, gràcies, en certa manera, als avenços en el maneig de les plagues (figura 1). Els productors primaris unicel·lulars són de tres a quatre vegades més eficients que les plantes terrestres a l'hora de convertir l'energia solar

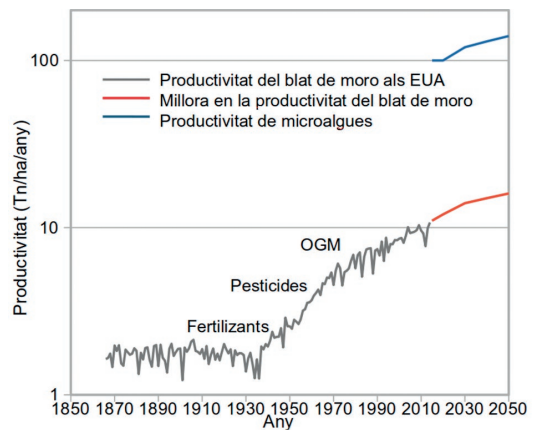


Figura 1. Productivitat mitjana del blat de moro als Estats Units de 1866 a 2014, segons les dades del Departament d'Agricultura dels Estats Units (USDA) i la FAO de les Nacions Unides. La productivitat (rendiment) mitjà del blat de moro als Estats Units es va mantenir relativament estable durant la dècada de 1800 fins a la dècada de 1930. En el període des de 1940, la productivitat s'ha multiplicat per més de cinc gràcies a la millora en els sistemes de reg, els fertilitzants, la millora en el maneig de plagues i el desenvolupament d'organismes genèticament modificats (OGM). La productivitat dels sistemes de producció de microalgues és un ordre de magnitud més alta que la productivitat actual del blat de moro i s'espera que augmentin substancialment a mesura que la tecnologia de cultiu de microalgues, actualment subdesenvolupada, millori la productivitat dels ceps i la resistència a les plagues.

en biomassa i poden aconseguir productivitats per unitat de superfície fins a un ordre de magnitud més altes (figura 1). No obstant això, el seu ús com a font sostenible de matèria primera per a la producció d'aliments, pinsos o biocombustibles roman sense explotar. El cultiu de microalgues utilitzant aigües residuals o aigua de mar té un potencial increïble per a convertir-se en una important font de biomassa en el futur, així com un eficient embornal del CO₂ resultant dels processos industrials (Araújo *et al.* 2021). No obstant això, el desplegament a gran escala del cultiu de microalgues pateix dels mateixos problemes als quals l'agricultura convencional s'ha enfrontat durant segles. Com es va discutir en el paràgraf inicial, els microorganismes heteròtrofs poden apoderar-se de les comunitats de plàncton en qüestió de dies, la qual cosa porta al col·lapse dels sistemes de producció de biomassa de microalgues. A més, els cianobacteris i microalgues tenen enormes necessitats nutricionals (fertilitzants), la qual cosa dificulta l'expansió global del cultiu d'algues per a la producció en massa de productes bàsics de baix preu, com a aliments, pinsos i biocombustibles. Protegir els cultius de microalgues dels herbívors, plagues i malalties, i trobar maneres de reproveir els nutrients i el CO₂ per a millorar, respectivament, la producció primària i la captura biològica de C és fonamental perquè el cultiu de microalgues sigui veritablement sostenible i rendible en les pròximes dècades.

L'adveniment de noves tecnologies, com la genòmica, ha permès als científics marins obtenir una comprensió més profunda de com els productors primaris unicel·lulars prosperen, moren i es descomponen en els ecosistemes naturals de plàncton (Pedrós-Alió 2006). Aquest concei-

xement ens proporciona informació extremadament valuosa per a explorar maneres d'accelerar els processos naturals i ajudar a i) proporcionar una font sostenible de biomassa per a la producció d'aliments i biocombustibles i ii) reduir el CO₂ atmosfèric emès per la crema de combustibles fòssils, capturant-lo en forma de compostos orgànics refractaris, tal com l'ha estat fent la naturalesa des de l'origen de la fotosíntesi oxigènica fa uns 2.500 milions d'anys. De la mateixa manera que l'agricultura va representar un canvi transcendent en la història de la humanitat i del nostre planeta, l'expansió del cultiu de microalgues exercirà un paper crucial en l'evolució de la nostra societat cap a un planeta futur més habitable.

Agraïments. Les idees plasmades en aquest assaig formen part dels objectius del projecte PRODIGIO 'Desenvolupament de sistemes d'alerta primerenca per a la millora de la producció de microalgues i la digestió anaeròbica'. El projecte PRODIGIO ha rebut finançament del programa de recerca i innovació Horitzó 2020 de la Unió Europea en virtut de l'acord de subvenció #101007006.

Referències

- 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>