

CULTIVO DE MACROALGAS MARIÑAS: FONTE SOSTIBLE DE BIOMASA PARA BIO-REFINERÍAS?

César Peteiro, Manuel García-Tasende, Óscar Jesús Prado*

As laminarias, algas pardas de gran tamaño, amosan un alto contido en polisacáridos (entre 40 e 70% do seu peso en seco) polo que poden ser empregadas como unha fonte para producir bioetanol. Para a súa aplicación a escala industrial requírese de grandes cantidades de biomasa que no caso das laminarias debería ser obtido a partir do seu cultivo no mar. A produción de bioetanol poder ser realizada en bio-refinarias nas que ademais de biocombustibles poden ser obtidos outros produtos de interese comercial (alimentación humana e animal, fertilizantes, produtos químicos, etc.). A acuicultura mariña das laminarias ofrecería ao tempo unha serie de servizos ecosistémicos, como a reciclaxe de nutrientes e a conversión del dióxido de carbono en oxíxeno.

O consumo de combustibles fósiles derivados do petróleo (gasolina e diésel) ten unha serie de impactos ambientais (emisións de dióxido de carbono), económicos (crises relacionadas co prezo do petróleo) e estratéxicos (forte dependencia nos países non produtores) que teñen motivado a busca de novas materias primas para a produción de combustibles alternativos. Este é o caso dos biocombustibles producidos a partir de biomasa vexetal, que son empregados especificamente no sector da automoción. Estes biocombustibles son unha alternativa renovable á gasolina e ao diésel.

Os biocombustibles líquidos, bioetanol e biodiésel, e o biogás son os máis comúns nos medios de transporte. Dun punto de vista ambiental, o uso de biocombustibles ten a vantaxe, en relación aos combustibles fósiles, de que o equilibrio entre a cantidade de dióxido de carbono (CO₂) producido durante a combustión e o consumido por procesos fotosintéticos das plantas é neutro, o que mitiga a produción de gases de efecto

A produción de bioetanol convencional ten xerado fortes críticas por necesitar grandes extensións de terreo e consumir auga doce, o que causa escaseza de alimentos e incremento dos seus prezos

invernadoiro. Por outra parte, os biocombustibles son menos contaminantes que os combustibles derivados do petróleo. Ademais, o emprego de biomasa como fonte de biocombustibles renovables nos países con capacidade de produción reduce a dependencia destes países con respecto aos produtores de combustibles fósiles.

O bioetanol é o biocombustible máis amplamente utilizado hoxe en día como substituto parcial ou total da gasolina. Emprégase principalmente mesturado con ela, en concentracións de entre o 5 e o 15% en vehículos modernos, pero pode ser empregado como combustible sen mesturar en vehículos con motores modificados (*flexifuels*). A adición de derivados

O Parlamento Europeo apoiou a proposta de promover a produción de biocombustibles de segunda xeración que poden ser obtidos a partir de algas ou residuos vexetais agrícolas

do bioetanol (ETBE) á gasolina ten a vantaxe de que serve para osixenala, o que evita a utilización doutros aditivos nocivos procedentes do petróleo. O bioetanol convencional ou de primeira xeración é producido por fermentación alcohólica dos azucres de orixe vexetal realizada por microorganismos en condicións anaeróbicas (ausencia de osíxeno). Na

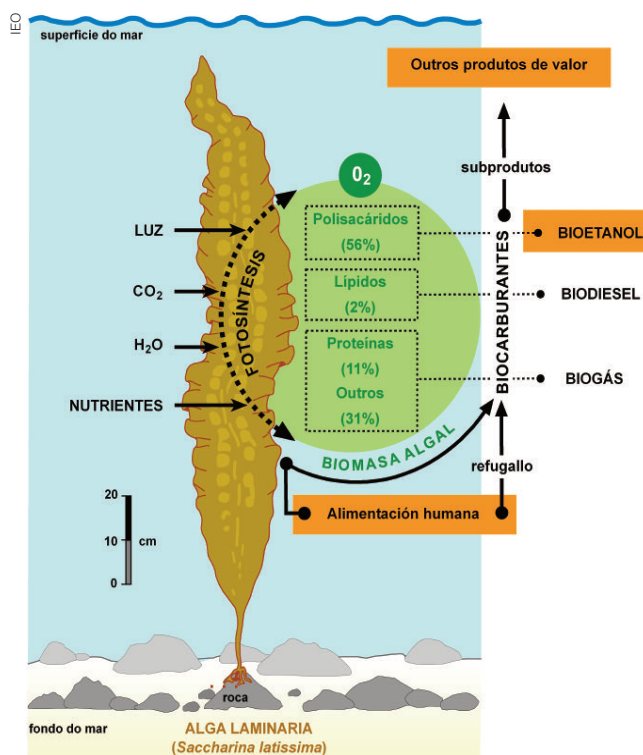


Fig. 1 Esquema da produción de biomasa das laminarias e dos potenciais usos dos seus compostos orgánicos para a obtención de biocombustibles e outros produtos de interese comercial.

obtención de bioetanol emprégase unha ampla variedade de especies agrícolas, fundamentalmente caña de azucre e millo, e en menor medida, trigo e orxo. A produción de bioetanol convencional a partir de variedades agrícolas ten xerado fortes críticas por necesitar grandes extensións de terreo e consumir auga doce, o que causa escaseza de alimentos básicos e incremento dos seus prezos.

BIOCOMBUSTIBLES DE ALGAS

Unha alternativa máis sostible fronte aos biocombustibles tradicionais son os coñecidos biocombustibles de segunda xeración que poden ser obtidos a partir de algas ou residuos vexetais agrícolas mediante o emprego de novas tecnoloxías. Da biomasa empregada para a obtención dos biocombustibles de segunda xeración, poden ser extraídos tamén outros compostos con valor comercial. Estes procesos son realizados en factorías de produción denominadas bio-refinarias. Deste xeito, non só se mellora o rendemento da produción dos biocombustibles senón que se reducen os residuos xerados. Coa fin de fomentar a utilización de biocombustibles fronte os de orixe fósil, a Comisión Europea e os seus Estados membros puxeron en práctica medidas para fomentar o emprego de biocombustibles nos medios

de transporte de modo que estes representen en 2020 polo menos o 10% dos combustibles empregados neste sector (Directiva 2009/28/CE do Parlamento Europeo). Recentemente, o Parlamento Europeo apoiou a proposta de promover a produción de biocombustibles de segunda xeración fronte aos convencionais ou de primeira xeración (Proposta aprobada polo Parlamento Europeo na sesión plenaria do 28 de abril do 2015).

As algas son organismos fotosintéticos que capturan a enerxía da luz solar e a empregan para converter CO₂, auga e nutrientes inorgánicos en biomasa e osíxeno. Poden diferenciarse entre algas microscópicas unicelulares (microalgas) e algas multicelulares macroscópicas (macroalgas). As macroalgas presentan unha gran variedade de formas e tamaños que varían desde as máis simples ou filamentosas ata as formas arborescentes (ver Cerna 74, páx. 14-17). O emprego das microalgas para a produción de biodiésel xa foi probado nos últimos anos. O estudo do uso das macroalgas como biomasa para a obtención de biocombustibles é máis recente. Fronte a plantas agrícolas empregadas polo de agora na produción de biocombustibles, determinadas especies de macroalgas teñen vantaxes significativas: crecemento máis rápido, a súa utilización non compromete a produción de alimentos básicos e doutros produtos derivados das colleitas agrícolas e, o seu cultivo a gran escala é viable, rendible e non require, a priori, o uso de terra agrícola nin o consumo de auga doce. Por outra parte, o cultivo das macroalgas a gran escala suporía unha serie de servizos ecosistémicos e ambientais.

As macroalgas conteñen unha grande diversidade de compostos orgánicos, como poden ser os polisacáridos, as proteínas e os lípidos, que poden ser empregados para producir: (1) etanol, a partir da fermentación alcohólica anaeróbica dos polisacáridos, (2) biodiésel, derivado de lípidos obtidos por un proceso químico chamado transesterificación, e (3) biogás, producido por dixestión ou descomposición de compostos orgánicos da biomasa (Fig. 1). Deles, o bioetanol é actualmente o que ten un maior interese, dado que en xeral as macroalgas caracterízanse por ter un alto contido en polisacáridos. De todas as macroalgas, son as laminarias as que presentan unha maior potencialidade como fonte de bioetanol. Estas macroalgas pardas caracterízanse por ter un alto contido en polisacáridos (ata un 70% do seu peso seco) e por ser de crecemento rápido con talos ou frondes que poden alcanzar en poucos meses varios metros de lonxitude. Ademais, os residuos xerados durante o proceso de produción de bioetanol coas laminarias poden ser tamén aproveitados para producir biogás e outros produtos de valor comercial, como fertilizantes, forraxe ou compostos alimenticios para aplicacións industriais. O proceso de produción de bioetanol por fermentación dos polisacáridos de laminarias ten sido mellorado recentemente para a súa aplicación industrial con novos tratamentos enzimáticos e o uso de microorganismos máis eficientes.

CULTIVO DE ALGAS LAMINARIAS

As posibilidades de produción de bioetanol en Galicia a partir de biomasa de laminarias pasaría polo cultivo a gran escala destas macroalgas. A produción a partir de biomasa procedente de poboacións naturais non sería sostible pola elevada cantidade requirida, e polo feito de que as poboacións de laminarias constitúen unha parte moi importante dos ecosistemas mariños polo que deben ser preservadas. Estas poboacións xa están sometidas a presións naturais e antrópicas polo que non é recomendable incrementar as mesmas.

A acuicultura mariña ou maricultura de laminarias ten gran relevancia en Xapón, China e Corea do Sur, onde especies destas macroalgas son cultivadas en grandes superficies. As laminarias son empregadas en moitas industrias, como da alimentación, téxtil, química, farmacéutica, papeleira e agropecuaria. En Asia actualmente prodúcense preto de 8 millóns de toneladas ao ano, mentres que en Europa e América, os cultivos son polo de agora experimentais ou a pequena escala.

En Galicia xa foron realizadas experiencias de cultivo de laminarias a escala comercial que teñen demostrado a súa viabilidade. É o caso da Sac-



Fig. 2 Cultivo de gametófitos de laminarias (fase microscópica) en botellóns dentro de cámaras de simulación ambiental. Esta fase microscópica constitúe o "banco de semente" do que se obtéñen as novas plántulas (pequenos esporófitos).



Fig. 3 Tanques de embrioxénese onde, baixo condicións controladas de cultivo, ten lugar a formación dos novos esporófitos ou plántulas, que medran sobre o fio de cultivo.

charina lattissima, unha laminaria autóctona que se coñece co nome comercial de "kombu real ou de azucre". Para o cultivo desta especie é necesario desenvolver as diferentes fases do seu ciclo de vida, que se caracteriza por unha alternancia dunha xeración microscópica, os gametófitos, e unha xeración macroscópica, os esporófitos. Os esporófitos adultos están constituídos por frondes macroscópicas de varios metros de lonxitude que son as que teñen interese comercial.

O cultivo desta especie comprende dúas fases diferenciadas, unha primeira no laboratorio na que se obtéñen as novas plántulas (esporófitos de varios milímetros) que posteriormente son cultivadas no mar para obter as grandes frondes de talla comercial.

A primeira fase no laboratorio consinte no cultivo dos gametófitos masculinos e femininos en cámaras con condicións de cultivo controladas. Estes cultivos constitúen o banco de semente requirido para o cultivo

Óscar Friebe



Fig. 4 Cuadrícula de cultivo con macroalgas nas costas galegas da Ría de Ares e Betanzos (A Coruña).

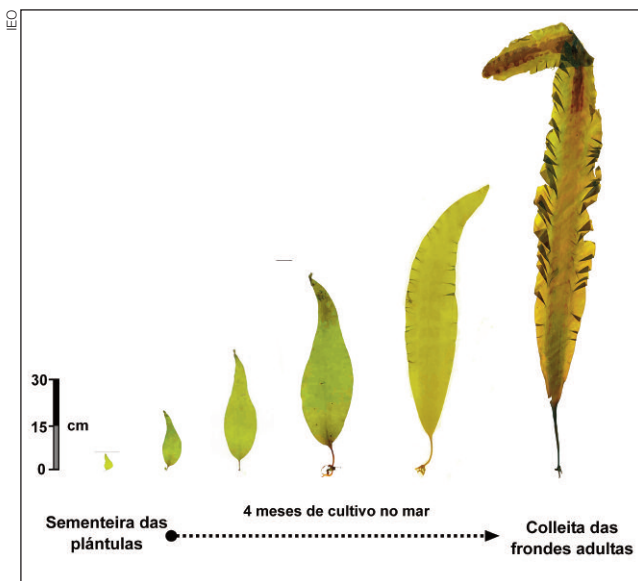


Fig. 5 Esquema do crecemento do "kombu de azucre" durante 5 meses de cultivo no mar (exemplares secados en cartolinas).



Fig. 6 Cabos de cultivo con frondes da laminaria "kombu de azucre" despois de varios meses de cultivo no mar.

posterior dos esporófitos (Fig. 2). Os gametófitos son sementados sobre fío e introducidos nos tanques de embrioxénese baixo condicións ambientais específicas (luz, temperatura, movemento da auga, nutrientes etc.), onde ten lugar a reprodución sexual e formación de novos esporófitos (Fig. 3). Os fíos coas plántulas reciben o nome de "semente". En

As macroalgas conteñen unha gran diversidade de compostos orgánicos que poden ser empregados para producir etanol, biodiésel e biogás. Deles, o bioetanol é actualmente o que ten un maior interese

España, tan só o Instituto Español de Oceanografía (IEO) na súa Planta de Cultivo de Algas en Santander dispón dun banco de xermoplasma con gametófitos de cepas seleccionadas de *S. latissima* descendentes de poboacións das costas galegas. Este banco ten un grande valor científico e tecnolóxico, xa que pode proporcionar novos esporófitos desta especie con alta capacidade de crecemento e resistencia ás altas temperaturas que poden ser empregados tanto para o cultivo comercial como para a repoboación de zonas costeiras que teñan sufrido fortes alteracións de orixe natural ou antrópico.

Durante a segunda fase, a "semente" é implantada en cordas de cultivo que son trasladadas aos parques de cultivo localizados en polígonos de cultivos mariños (Fig. 4). Existen diferentes sistemas ou viveiros de cul-

En Galicia xa se teñen realizado experiencias de cultivo de laminarias a escala comercial que teñen demostrado a súa viabilidade. É o caso da *Saccharina latissima*

tivo, pero ata agora o máis empregado e o sistema de "long-line", constituído por diferentes liñas nais de cultivo que se manteñen dentro da cuadrícula de cultivo co emprego de mortos que as fixan ao fondo e flotadores que as manteñen entre augas. Os cabos cos fíos de semente poden ser dispostos horizontalmente enrolados nas liñas de cultivo ou verticalmente cando se dispoñen colgando das liñas nais. As frondes cultívanse no mar durante preto de 5 meses ata que acadan unha lonxitude aproximada de algo máis de metro e medio, cando son colleitadas (Fig. 5). A produción de biomasa de *S. latissima* en cultivo alcanza en Galicia valores de ata 16 kg de peso fresco por metro de liña de cultivo, o que supón unha produción de preto de 40 toneladas de peso fresco por hectárea de cultivo na que foron dispostos 2.500 metros de cabos. En Galicia, o cultivo de algas laminarias con fins industriais poderían ter cabida en áreas en desuso ou menos favorables aos cultivos tradicionais de mexillón e peixes, pero tamén se pode integrar perfectamente de maneira sustentable nestes cultivos. (Fig. 6).

BENEFICIOS AMBIENTAIS

O cultivo de macroalgas mariñas ofrecería unha serie de servizos ecosistémicos ou beneficios ambientais. Para o seu crecemento necesitan dióxido de carbono, nitróxeno e fósforo, de xeito que axudarían a reducir o carbono atmosférico e os residuos inorgánicos do medio mariño. De feito, o uso de cultivo de algas é de grande interese para o desenvolvemento dunha acuicultura sostible ao absorber algúns residuos inorgánicos producidos nos cultivos de peixes, crustáceos e moluscos. Esta asociación de organismos con diferentes niveis tróficos ou nutricionais nun sistema de policultivo integrado coñécese como "acuicultura multitrofica integrada". Xa están sendo establecidas en Galicia experiencias de cultivo deste tipo nas que se integra xunto co cultivo de peixes e mo-

lucos, o cultivo de *S. latissima*. A biomasa de algas obtidas nestes cultivos vai destinada basicamente ao sector da alimentación humana, pero tamén poder ser empregada como composto químico, fertilizante ou na alimentación de especies herbívoras cultivadas en Galicia, como os ourizos e as orellas de mar. Destes cultivos tamén se podería obter biomasa para a produción de bioetanol, e incluso a partir dos residuos xerados na elaboración dos produtos alimenticios derivados das algas.

Esta variedade de aplicacións da biomasa obtida no cultivo de algas pode dar lugar á creación de bio-refinarías (Fig. 7) nas que ademais de bio-combustibles poden ser obtidos outros produtos de interese comercial (alimentación humana e animal, fertilizantes, produtos químicos, etc.).

*César Peteiro é investigador do Centro Oceanográfico de Santander, Instituto Español de Oceanografía (IEO); Manuel García-Tasende é biólogo da Consellería do Mar, da Xunta de Galicia e Óscar Jesús Prado é o director e investigador da empresa Aeris Tecnologías Ambientales S.L., asociada á Universitat Autònoma de Barcelona.



Saccharina latissima é unha potencial fonte de biocombustibles e outros produtos de interese comercial. A súa conversión en bioetanol ten sido mellorada recentemente para a súa aplicación industrial.

BIBLIOGRAFÍA

Buschmann A.H., Stead R.A., et al. (2013). Un análisis crítico sobre el uso de macroalgas como base para una acuicultura sustentable. *Revista Chilena de Historia Natural*, 86, 251–264.
 Kraan S. (2013). Mass-cultivation of carbohydrate rich macroalgae, a possible solution for sustainable bio-fuel production. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 18(1), 27–46.
 Peteiro C., Sánchez N. & Martínez B. (2016). Mariculture of the Asian kelp *Undaria pinnatifida* and the native kelp *Saccharina latissima* along the Atlantic coast of southern Europe: An overview. *Algal Research*, 15, 9–23.
 Wargacki A.J., Leonard E., et al.(2012). An engineered microbial platform for direct biofuel production from brown macroalgae. *Science*, 335 (308), 308–313.
 Wei N., Quarterman J. & Jin Y.S. (2013). Marine macroalgae: an untapped resource for producing fuels and chemicals. *Trends in Biotechnology*, 31(2), 70–77.

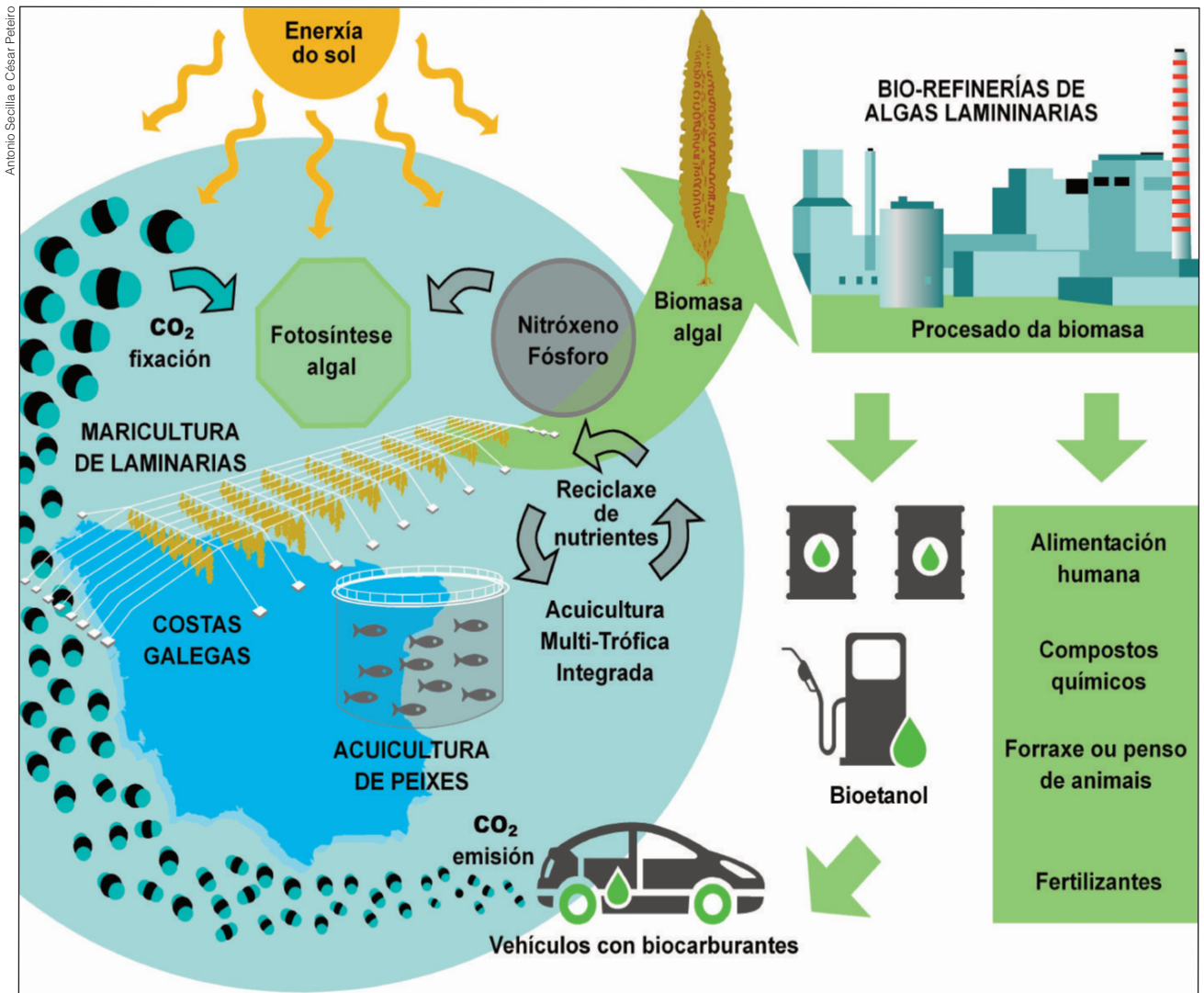


Fig. 7 Representación dunha bio-refinería como fonte sostible de biocombustibles e doutros produtos de interese comercial a partir da acuicultura mariña de algas laminarias.