

CULTIVO DE ALGAS PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES.

Ana Arce Bastos, Javier Echave Álvarez, Jéssica Groba Represa, Ánxo Méndez Villar, Marta Ruiz Arribas, Ana Rus Bouzón

e- mail: anaarcebatos@gmail.com, jechave@alumnos.uvigo.es, jgroba@alumnos.uvigo.es, amxmendez@alumnos.uvigo.es, mruarr@gmail.com, anarusbouzon@gmail.com

Resumen

Trabajo Botánica I

Grado Biología

Tutora y autora :

-Aída García Molares

Depatamento de Ecología y

Biología Animal

Facultad de Biología

Universidad de Vigo.

En los últimos años las algas están tomando un protagonismo importante en la producción de biocombustibles en sustitución de cultivos agrarios. En esta revisión bibliográfica detallamos las técnicas generales para la obtención de diversos biocombustibles, así como las especies más utilizadas, sus ventajas e inconvenientes y los avances más relevantes de los últimos años que se han realizado a nivel internacional.

INTRODUCCIÓN

Los primeros intentos de producción de biocombustibles a partir de algas datan de la década de los 70. En esta época, varios grupos de investigadores en Estados Unidos comenzaron a realizar proyectos basados en el cultivo oceánico en plataformas flotantes de macroalgas marinas. Más tarde, países europeos como Noruega siguieron sus pasos, pero no sería hasta los años 80 cuando se plantea su producción a gran escala. En las últimas décadas, investigadores de todo el mundo se han centrado mayoritariamente en el uso de las microalgas para la fabricación de biocombustibles, aunque en la actualidad también existen múltiples programas de investigación que apuestan por las macroalgas (Candelaria, 2012).

Técnicas y procedimientos

La producción de biocombustible a partir de aceite de microalgas es un proceso que se lleva a cabo en una serie de etapas: cultivo de microalgas, cosecha de la biomasa, extracción de lípidos y transesterificación.

1. Producción de biomasa: cultivo de microalgas

Los sistemas de cultivo de algas pueden separarse en dos grandes categorías: sistemas abiertos y sistemas cerrados (Fernández- Linares *et al.*, 2012).

1.1 Sistemas abiertos

Los sistemas abiertos se caracterizan porque el cultivo está en contacto directo con el ambiente (Fernández- Linares *et al.*, 2012). Destacan los estanques artificiales tipo circuito ("Racewayponds"), que consisten en sistemas de canales con unas ruedas de paletas que mantienen en circulación la biomasa, los nutrientes y el agua (Scott & Vaarun, 2010).

Los sistemas abiertos presentan ciertas desventajas: generalmente requieren de grandes áreas de terreno, la productividad se ve afectada por contaminaciones, se producen pérdidas de agua por evaporación y hay una transferencia limitada de CO₂. Por otra parte, se trata de sistemas más económicos

que los sistemas cerrados, aunque la producción de biomasa también es menor (Fernández-Linares *et al.*, 2012).

1.2 Cultivo en sistemas cerrados

En este caso el cultivo tiene poco o ningún contacto con la atmósfera (Contreras *et al.*, 2003), pues se trata de sistemas de tubos, paneles planos o columnas de burbujeo en cuyo interior se desarrolla una única especie de alga por períodos prolongados de tiempo. Estos sistemas presentan ciertas ventajas frente a los sistemas abiertos: alcanzan una productividad considerablemente superior, minimizan el riesgo de contaminación, permiten un mejor control sobre las condiciones de cultivo y previenen tanto la evaporación como las pérdidas de CO₂ (Fernández-Linares *et al.*, 2012). Sin embargo, son más caros que los sistemas abiertos.

2. Cosecha de la biomasa y extracción de lípidos

Una vez producida la biomasa mediante alguno de los sistemas anteriores, se procede a retirar el agua y a concentrar las células microalgales. Este proceso puede llevarse a cabo por los métodos de centrifugación, sedimentación por gravedad, filtración o floculación, ya sea individualmente o combinados, según la especie de microalga cultivada (Garibay *et al.*, 2009). Tras haber obtenido la biomasa seca de microalgas, se procede a la extracción de lípidos, la cual se puede realizar mediante diferentes métodos, entre los que destacan:

2.1 Destrucción mecánica

Consiste en la pulverización de la biomasa seca utilizando dispositivos mecánicos como molinos de bolas, sistemas de prensado, morteros, etc. Este método libera otras sustancias además de los lípidos, por lo que se utiliza en combinación con métodos de extracción por solvente químico (González *et al.*, 2009).

2.2 Extracción con solventes químicos

Los más utilizados son el hexano y el etanol, cuya mezcla permite extraer más del 98% de los ácidos grasos de la biomasa. Un sistema ampliamente utilizado es el extractor Soxhlet.

2.3 Extracción enzimática

Mediante el empleo de enzimas, se degrada la pared celular de las microalgas, produciendo la salida de los aceites presentes en la célula. Además, estas enzimas también pueden ser utilizadas para transformar los ácidos grasos presentes en las microalgas en lípidos aptos para su posterior transesterificación (González *et al.*, 2009).

3. Transesterificación

La transesterificación es una reacción química en la que moléculas de triglicéridos y un alcohol de cadena corta (generalmente metanol) se utilizan como reactivos en presencia de un catalizador, obteniendo como resultado ésteres (biodiesel) y glicerina, que es un co-producto de alto valor. Tras la reacción, la mezcla formada debe someterse a un proceso de separación de la glicerina, neutralización y lavado (Plata *et al.*, 2009).

Especies de algas empleadas.

En la producción de biocombustibles se emplean diferentes especies de algas debido a su facilidad para acumular triglicéridos o polisacáridos y a su rentable tasa de crecimiento. Si bien aún se desconoce el auténtico potencial de muchas de ellas y su posibilidad de manipulación genética, estos son algunos ejemplos de las algas más empleadas y productivas:

- ***Euglena gracilis*** (Klebs): su rápido crecimiento, reproducción y biomasa aprovechable la convierten en una candidata idónea para el cultivo y producción de biodiesel. Su alto contenido proteico hace que, aunque se extraigan pocos lípidos aprovechables, estos den lugar a un combustible de gran calidad y más ganancias por litro. Posee también una gran capacidad de crecimiento en aguas residuales, lo que supone un abaratamiento de recursos hídricos para su cultivo (Mahapatra *et al.*, 2012).

- **Chlorella sp.:** las algas del género Chlorella, en especial Chlorella vulgaris (Beyenrick), que cultivada en fuertes condiciones de estrés ambiental alcanza la fase estacionaria, pudiendo acumular sobre el 50% de su biomasa como triglicéridos insaturados, cuyo mayor componente es el ácido palmítico. Asimismo, la densidad y viscosidad de biocombustible producido suele ser alta aunque con un poder calorífico ligeramente más bajo que el combustible fósil. El mayor inconveniente de su cultivo es, quizás, que no es posible mantener la fase estacionaria el suficiente tiempo antes de que comience a producirse la muerte celular (Mallick *et al.*, 2011).

- **Botryococcus braunii** (Kützing): alga verde unicelular que forma parte del fitoplancton. Vive en colonias cuya matriz es un agregado de lípidos insolubles que es segregado por la pared de cada célula, el cual le permite tanto sobrevivir en ambientes oligotróficos u hostiles como protegerse de estrés osmótico. Esta especie es, quizá, una de las que más hidratos de carbono y triglicéridos produce y acumula, llegando estos a superar el 70% de su peso seco bajo unas condiciones de temperatura de 23°C, 0,15 M de salinidad, una intensidad de luz de 60 W/m² y un fotoperiodo de oscuridad de 12 horas. Además, presenta la ventaja de que gran parte de los hidrocarburos son liberados por la propia alga al exterior, facilitando la extracción de los mismos (Nagraja *et al.*, 2014).

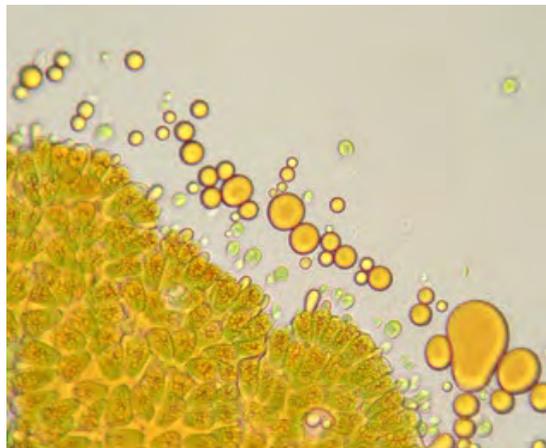


Figura 1: Colonia de *Botryococcus braunii* en la que se aprecia la matriz lipídica. Imagen registrada por Malcolm Storey (2005), disponible en: http://www.discoverlife.org/mp/20p?see=I_MWS61452&res=640.

Rendimiento de biocombustibles de algas.

Las algas ofrecen muchas ventajas de producción de combustibles bioenergéticos. Ofrecen unos beneficios potenciales muy significativos en relación a otras materias, entre un 45% y un 75% de su peso seco está constituido por aceites y lípidos, que representan potenciales recursos energéticos. Con ellas se precisa mucha menos energía para obtener biocombustibles (el balance energético utilizado es mucho menor que para otras materias), lo que supone una menor cantidad de biomasa por litro de combustible producido. La energía obtenida es mayor que con otras fuentes vegetales (30% más energético que el producido mediante soja) y además requieren de mucha menos superficie de suelo que los biocombustibles convencionales (Organización Latinoamericana de Energía, 2012).

Tabla 1. Comparación de distintas fuentes de materia prima para la producción de biodiesel en México. Se indican las proporciones de suelo fértil y de superficie total del país necesarias para reemplazar con biodiesel el 100% de la demanda de petrodiesel (GARIBAY *et al.*, 2009).

Materia prima	Productividad De Biodiesel (L/ha/año)	Superficie equivalente requerida (ha x 10 ⁶)	Porcentaje equivalente de la superficie fértil requerida	Porcentaje equivalente de la superficie total (no necesariamente fértil) requerida
Palma	5,950	3.972	16.14	--
Jatropha	1,892	12.490	50.75	6.43
Colza	1,190	19.859	80.69	--
Girasol	952	24.823	100.9	--
Soya	446	52.986	215.3	--
Microalgas ^a	12,000	1.969	8.00	1.01
Microalgas ^b	20,000	1.181	4.80	0.61

^aRendimiento conservador de productividad de biodiesel microalgal acorde con Schenk *et al.* (2008).

^bProductividad de biodiesel microalgal asequible a través de la tecnología actualmente disponible, acorde con Wijffels (2008).

Las emisiones de gases de efecto invernadero son casi nulas en comparación al petrodiesel y su producción no incrementa el CO₂ atmosférico. Además, los costes energéticos de producción de biocombustibles de algas son mucho más bajos que con el resto de las materias vegetales, debido a que se consigue más volumen de combustible final y a que no es necesario el transporte de las plantas desde el cultivo hasta la fábrica, por lo que se ahorra prácticamente el gasto energético del transporte. Esto repercute en el precio final del combustible, abaratándolo. El coste del barril de biodiesel es teóricamente más barato que el de las demás materias vegetales, solo que se ve encarecido por los costos en infraestructuras, que por el momento son muy elevados. Para los inversionistas y empresarios, el incentivo para el desarrollo de estas alternativas se encuentra directamente relacionado con la rentabilidad de la producción. Sin embargo, si es necesario esperar 20 años para obtener ganancias potenciales, no supone un gran estímulo para su puesta en marcha.

Cada especie de alga contiene proporciones de biomoléculas distintas, por lo que establecer qué especies son mejores es muy importante para optimizar el rendimiento de la producción. El valor más importante a tener en cuenta es el porcentaje de lípidos (aceites) que contienen las algas, ya que es el que mayor energía representa a la hora de producir el combustible. Las proteínas y los glúcidos son otros factores de interés, ya que son parte de la biomasa del alga, cuya presencia proporciona mayor calidad y rendimiento energético aunque no representen tanta energía final como los lípidos (Olmedo, 2009).

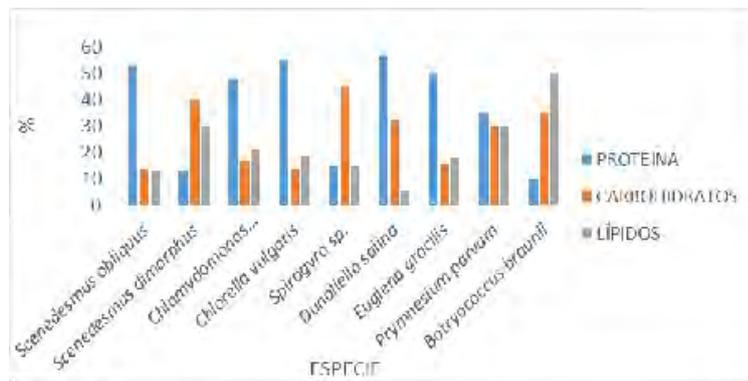


Figura 2: % en peso seco de distintos componentes (leyenda) en varias especies de microalgas.

No obstante, hay que establecer qué relación entre componentes es la idónea, teniendo en cuenta el combustible a producir o los mecanismos de producción utilizados. La rentabilidad del negocio será mayor cuanto más materia orgánica pueda obtenerse del alga. A la hora de establecer la especie y la forma de cultivo, también hay que tener en cuenta factores como la tasa de crecimiento, la temperatura y fotoperiodos necesarios para su cultivo, salinidad... e incluso la cepa, con el fin de obtener el máximo rendimiento. Se está investigando en métodos para optimizar la producción de microalgas y proveer una mayor proporción de lípidos en la biomasa total del alga. Uno de los métodos recientemente descubierto fue cultivar las algas (en el experimento fue usada *Chlorella protothecoides*) en caña de azúcar para incrementar su crecimiento. El jugo de caña de azúcar es rico en hexosas (tales como glucosa, fructosa, galactosa,...), pero precisa ser hidrolizado para proporcionar una fuente de carbono disponible para las algas.

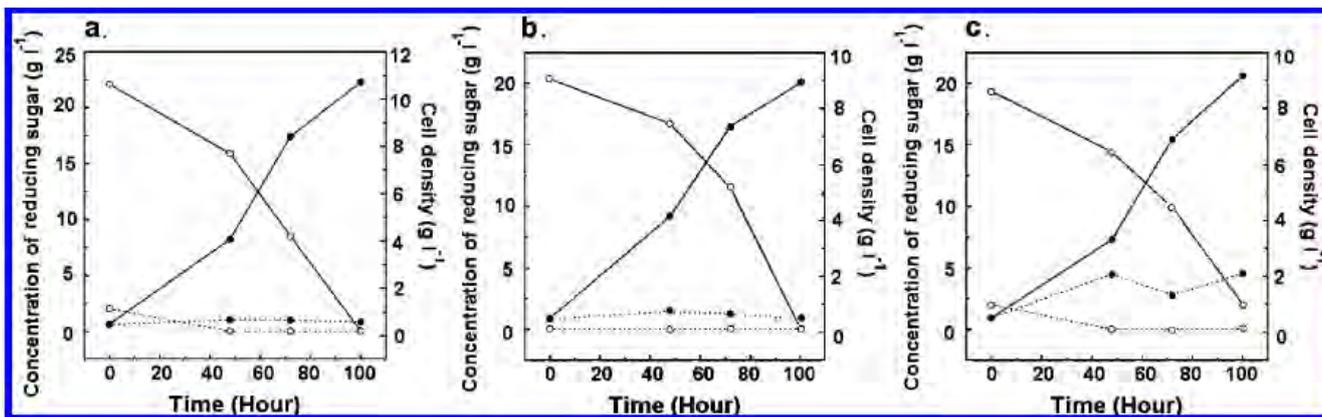


Figura 3: Comparación de diferentes fuentes carbonadas para un cultivo heterotrófico de algas. (a) Densidad celular (-●-) y azúcar reductor (-o-) en el medio con 20 g/L de glucosa y densidad celular (•••••) y azúcar reductor (•••••) en el medio sin glucosa (medio basal con extracto de levadura). (b) Densidad celular (-●-) y azúcar reductor (-o-) en el medio con 20 g/L de sacarosa hidrolizada (SH) y densidad celular (•••••) y azúcar reductor (•••••) en el medio con 20 g/L de sacarosa sin hidrolizar. (c) Densidad celular (-●-) y azúcar reductor (-o-) en el medio con 20 g/L de jugo de caña de azúcar (SCH) y densidad celular (•••••) y azúcar reductor (•••••) en el medio con 20 g/L de jugo de caña de azúcar sin hidrolizar para *C. protothecoides* (Cheng *et al.*, 2009).

La figura 3 sugiere que la sacarosa (usada como prueba) y el jugo de caña de azúcar no podían ser utilizados directamente por *C. protothecoides* (Krüger) antes del tratamiento de hidrólisis. Sin embargo, tanto la sacarosa hidrolizada como el jugo hidrolizado están disponibles para ser usados por las algas, las cuales crecen significativamente en su presencia. Este fenómeno podría ser explicado por una carencia de sacarosa en estas algas (Cheng *et al.*, 2009).

Esquema general de una planta de producción.

A la hora de construir una planta de producción de biomasa a partir de algas debemos tener en cuenta una serie de factores: ubicación adecuada (para que el cultivo reciba la radiación óptima que permita obtener la máxima producción de biomasa); el sistema de cultivo que nos proporcione mayor productividad y beneficios (sistema de fotobiorreactores, esquematizado en la figura 4) y los elementos que debemos incluir en la planta para aumentar su eficacia.

Las producciones anuales de biomasa para que el cultivo sea sostenible deben superar las 100 toneladas. Para alcanzar este objetivo, en una zona con radiación adecuada, es necesario construir la planta en una superficie de unos 10.000 m².

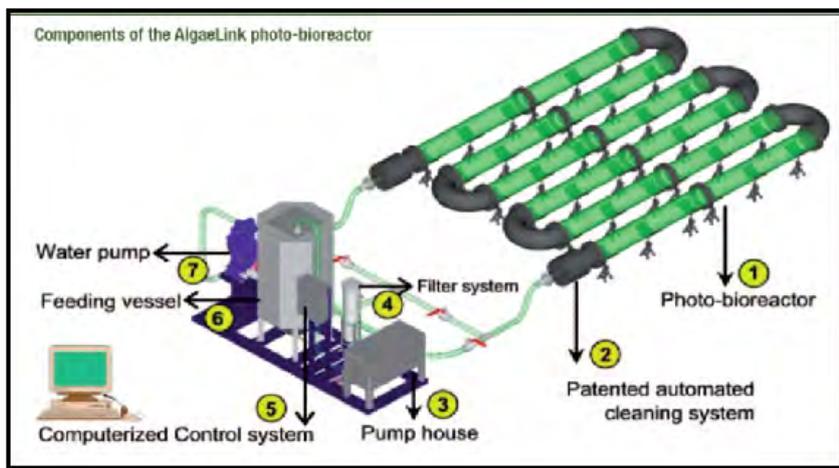


Figura 4. Esquema de una planta de fotobiorreactores.

Material de los fotobiorreactores

Uno de los materiales más destacables para la construcción del fotobiorreactor es el polimetilmetacrilato debido a que su transparencia permite que el cultivo reciba mayor radiación solar y a que es un material rígido y resistente que permite afrontar las condiciones exteriores a las que está expuesto el cultivo (Rubianes, 2011).

La planta de fotobiorreactores posee tanques de almacenamiento en los que se acumula el cultivo de algas y que permiten el bombeo de la masa fluida. Además, presenta depósitos auxiliares que abastecen de nutrientes al cultivo y contienen los equipos que generan turbulencias mediante inyección de CO₂, barriendo todo el tubo helicoidalmente por acción de un agitador sumergible. Por ello, la instalación debe poseer una electroválvula de inyección de CO₂ que permita controlar la cantidad de CO₂ y el momento de suministrarlo para evitar la acidificación del cultivo. La agitación es imprescindible para homogeneizar y facilitar la recepción de luz, disminuyendo el consumo energético y el coste.

Otros elementos importantes en las plantas de fotobiorreactores son: válvulas, pH y sustrato, panel PLC (Programmable Logic Controller) para controlar la automatización del proceso, bombas de recirculación y de cosechado y sensores que midan temperatura, pH, intensidad lumínica...

La densidad celular se mide a diario, a partir de cuatro reproducciones del cultivo en una cámara hematocitométrica Neubauer (Rubianes, 2011).

Ventajas e inconvenientes del uso de algas para la producción de biocombustible.

Entre las ventajas más importantes podemos señalar el hecho de que las algas captan CO₂ para llevar a cabo sus procesos vitales. Esto puede llegar a ser muy útil a la hora de eliminar el CO₂ liberado como subproducto de las actividades industriales, lo que reduciría el denominado efecto invernadero (Castells y Bordas, 2012). Aparte de lo anterior, existen otras características de las algas que resultan de interés productivo, tales como:

1. Mayor rendimiento en aceite en comparación con otros cultivos convencionales destinados al mismo uso. Las algas presentan una relación del orden de 20.000 litros de combustible por hectárea de terreno frente a los 6.000 de la palma aceitera o los 4.000 de la caña de azúcar (Olmedo, 2009).

2. Posibilidad de cultivarse tanto en agua de mar como en aguas salobres, o incluso aguas residuales (Duarte, 2010). Esta posibilidad disminuye la presión sobre el agua dulce requerida por la producción de alimentos.

3. La producción de biocombustible a partir de microalgas no afecta en absoluto al mercado de alimentos (Guillen, 2010). La producción de biocombustibles mediante la utilización de productos que podrían ser destinados al consumo alimentario humano ha resultado muy polémica en los últimos años, ya que estas prácticas hacían más escasos ciertos recursos básicos y, por tanto, su encarecimiento.

4. Para el cultivo de microalgas no se destruyen bosques ni selvas (Guillen, 2010).

5. Los costes energéticos de producción de biocombustibles de algas son mucho más bajos que con el resto de las materias vegetales. Esto es debido a que se consigue más volumen de combustible final y a que no es necesario su transporte (Castells y Bordas, 2012).

6. Funcionarían como sistemas de depuración en aguas residuales ya que absorben elementos como el nitrógeno y el fosfato del agua (Duarte, 2010).

7. Al no contener azufre se evitarían fenómenos como la lluvia ácida (Twenergy, 2011).

8. Las emisiones de gases de efecto invernadero son casi nulas en comparación al petrodiesel (Roldán, 2012).

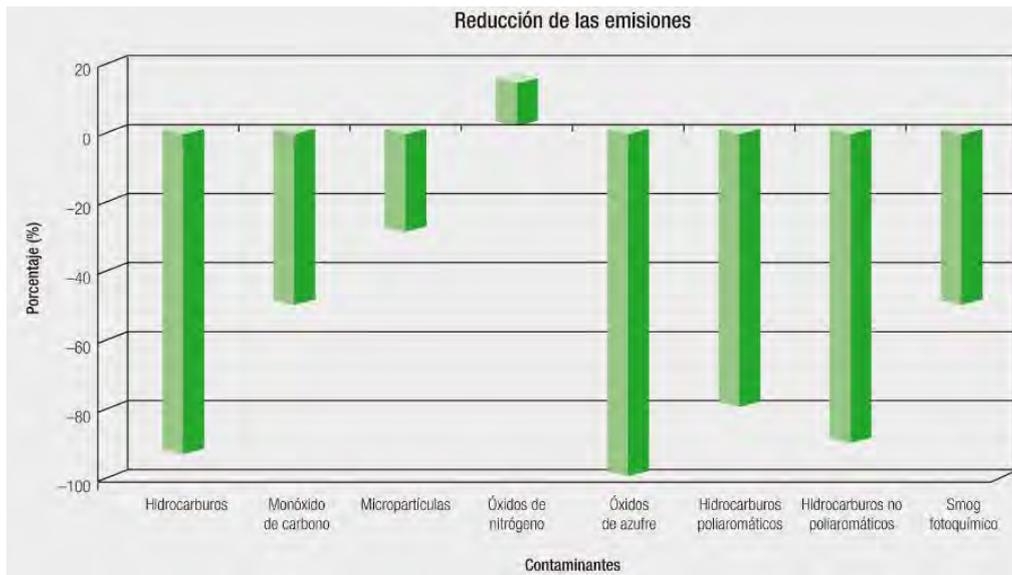


Figura 5: Balance de emisiones del biodiesel con relación al petrodiesel (Otero, 2011).

9. Baja toxicidad en caso de vertido accidental (Twenwegy, 2011).

10. Desde el punto de vista técnico, tiene una gran lubricidad y un alto punto de inflamación lo que le aporta una mayor seguridad (Twenwegy, 2011).

Pero, a pesar de esta multitud de ventajas, el uso de algas como biocombustible también presenta una serie de inconvenientes:

1. Su coste no lo hace competitivo frente al diesel convencional. Los costes de producción de microalgas oscilan en la actualidad entre 10 y 35 euros por kilogramo de biomasa seca. Estos costes enfrentados al precio actual del combustible, que ronda los 1,50 euros por litro, suponen una clara desventaja (Twenwegy, 2011).

2. Coste de infraestructuras. Los altos costes que supone generar las infraestructuras necesarias para la obtención de biocombustible a partir de algas son uno de sus principales inconvenientes (Castells y Bordas, 2012).

3. Generalmente tienen menor poder calorífico (Twenwegy, 2011).

4.*Menor estabilidad a la oxidación (importante a la hora de almacenarlo) (Twenwegy, 2011).

5. *Peores propiedades en frío (incompatible a temperaturas muy bajas) (Twenwegy, 2011).

*Aunque estas dos últimas desventajas se podrían solventar si se le añadiese algún tipo de aditivo.

Investigación.

Durante la última década, la preocupación creciente sobre el agotamiento del petróleo y el calentamiento global, han motivado numerosas investigaciones relacionadas con la producción de combustibles de calidad a partir de biomasa, algunos de ellos con la intención de conseguir objetivos secundarios como el de obtener antibióticos, ácidos grasos poliinsaturados, vitaminas, alimento para animales o, incluso, la depuración de aguas residuales.

Concretamente, en el año 2010 la Universidad de Vigo (Maceitas, 2010) realizó un estudio sobre la obtención de biocombustible aprovechando las algas recogidas en la playa, cuyo final es el vertedero, para identificar las especies con mayor contenido en aceites y el rendimiento de los procesos de obtención de dicho biocombustible. Según dicho estudio, a pesar de que el contenido en aceite de las algas no era muy alto, lo que a priori puede parecer un inconveniente, no lo es tanto al tener en cuenta que sólo en el sur de Galicia se recogen al año más de 1.500 toneladas de algas de las playas. Los

autores concluyeron que la extracción de biocombustible de las algas es perfectamente factible y que, además, es una tecnología que puede ser muy interesante y ampliamente explotada en el futuro.

Diferentes empresas, en colaboración con universidades españolas como las de Alicante, Valencia o Cantabria, están llevando a cabo proyectos de investigación sobre el uso de algas clorófitas en condiciones artificiales de luz, CO₂, fósforo y nitrógeno óptimas en las que las algas aceleran sus procesos vitales y reproductivos logrando miles de veces más biomasa que el cultivo anual de soja, girasol o palma, usando mucho menos territorio y menos agresivamente (Catalán, 2007). En otros proyectos se están analizando distintos tipos de microorganismos y su potencial de crecimiento sobre residuos (purines de cerdo, suero de leche o aguas residuales urbanas), y que, a su vez, acumulen cantidades suficientes de aceites que podrán ser procesados para la extracción de acilglicérols y su posterior conversión en biodiesel (Biomar, 2012). Otros proyectos se ocupan de seleccionar cepas capaces de acumular una alta cantidad de polisacáridos para la producción de bioetanol (BIOMAR, 2012).

En 2013, investigadores de la Universidad de Alicante patentaron un novedoso fotobiorreactor que ha suscitado el interés de empresas tanto españolas como extranjeras del sector de la biotecnología, ya que permite cultivar microalgas de forma más eficiente (Universidad de Alicante, 2013). La mejora de este biorreactor, en comparación con otros ya existentes, radica en que permite una gran productividad, menores operaciones de limpieza y mantenimiento, mejor aprovechamiento del CO₂ y mejor transferencia de la luz al cultivo. El diseño de esta novedosa tecnología pretende subsanar las dificultades o inconvenientes que se han ido presentando a lo largo de los años con el uso de otros sistemas de cultivo similares.

En 2011, dentro del marco del proyecto EnerBioAlgae (Penelas, 2011), en el que participan las Universidades de Vigo, Almería, Aveiro (Portugal) y Pau et Paus de l'Adour (Francia), se realizó una investigación cuyo objetivo era identificar las mejores especies de microalgas para la limpieza de zonas degradadas y la obtención de biocombustibles. Su finalidad era demostrar la viabilidad técnica, económica y ambiental del proyecto mediante el diseño y la instalación de una experiencia piloto a finales de 2012.

El proyecto europeo All-gas (2010-2016), en el que participa un consorcio de entidades investigadoras de varios países con el liderazgo de la empresa española Aqualia, se está desarrollando en las instalaciones de la E.D.A.R. El Torno, en Chiclana de la Frontera (Cádiz) (Ruiz del Árbol, 2012). Con este proyecto se consiguen simultáneamente la depuración natural (por las algas) de las aguas residuales en una planta autoabastecida sin necesidad de electricidad ni emisiones de CO₂, y la recolección y procesamiento de la biomasa para el aceite y otras extracciones químicas. Se indagará en qué tipo de alga da mejores resultados y se verificará cuán eficaz es el proceso, desde el crecimiento de los cultivos acuáticos hasta el uso del biocombustible en vehículos. Si se logra el objetivo de productividad de biocombustibles en esta extensión se prevé que se pueda cubrir el consumo anual de 400 vehículos

A principios del 2014 se presentaron las conclusiones extraídas del proyecto europeo Energreen (Rico, 2014), coordinado por el Instituto Vasco de Investigación y Desarrollo Agrario (Neiker-Tecnalia), cuyo objetivo era la readaptación de los cultivos tradicionales de microalgas para conseguir microorganismos con un alto potencial energético. La conclusión principal es que para la obtención de un biodiesel de calidad, la biomasa de microalgas empleada ha de contener al menos un 30% de lípidos de reserva; además, tras evaluar la biomasa residual generada después de la extracción de aceite, se ha confirmado su potencial metanogénico para la producción de biogás. Para ello, se establecieron estrategias de cultivo basadas en la limitación de nutrientes, lo que ha permitido la obtención de esta biomasa con alto contenido lipídico.

Tecnalia, en otro proyecto coordinado por Endesa, investiga sobre el desarrollo de tecnologías

innovadoras de ingeniería genética aplicables a microalgas para la generación de los citados productos energéticos (Valera, 2013).

También existen numerosas multinacionales con sede en Estados Unidos y Asia que están interesadas en posicionarse en el ámbito de los biocombustibles; de hecho, en Estados Unidos, hay un proyecto en marcha cuyo objetivo es lograr combustible no proveniente del petróleo como fuente energética alternativa para el abastecimiento del transporte civil y militar (Universidad de Alicante, 2013).

La producción de microalgas con fines energéticos aún supone un alto coste de producción como para resultar rentable comparado con el del petróleo; sin embargo, esto no implica que en unos años siga siendo así. Es una tecnología en desarrollo de la que aún quedan muchas incógnitas que investigar y resolver, como las modificaciones genéticas que permitan producir algas con mayor rendimiento o más fáciles de cultivar, o incluso producir algas “a la carta” que cumplan los requisitos de cada productor. Asimismo, estas investigaciones podrían ayudar a conocer mejor los sistemas de producción de aceite en algas y ayudar a su optimización.

BIBLIOGRAFÍA

- Biomar Microbial Technologies (2012). Líneas de investigación en biocombustibles. Visitado el 06/01/2015 en: <http://www.biomarmicrobialtechnologies.com/es/bio-energia/biocombustibles/lineas-de-investigacion-biocombustibles.html>
- Candelaria, M. (2012). Algas para producir combustible. Visitado el 16/01/2015 en: <http://magazineoceano.com/algas-para-producir-combustible/#.VhANgeztmko>
- Castells, X.E. y Bordas, S. (2012). Energía, agua, medioambiente, territorialidad y sostenibilidad. Ediciones Díaz Santos.
- Catalán, G. (2007). El “biopetróleo” renovable de Alicante. Visitado el 14/01/2015 en: <http://www.biopetroleo.com/pdf/070528-elmundo.pdf>
- Cheng, Y., Lu, Y., Gao, C., Wu, Q. (2009). Alga-Based Biodiesel Production and Optimization Using Sugar Cane as the Feedstock. *EnergyFuels*, 23:4166–4173.
- Contreras, C., Peña, J.M., Flores, L.B., y Cañizares, R.O. (2003). Avances en el diseño conceptual de fotobiorreactores para el cultivo de microalgas. *Interciencia*, 28: 450-456.
- Duarte, C.M. (2010). *Océano: el secreto del planeta tierra* (primera edición). Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC).
- Fernández-Linares, L.C., Montiel-Montoya, J., Milán-oropeza, A. y Badillo- Corona, J.A. (2012). Producción de biocombustibles a partir de microalgas. *Ra Ximhai*, 8:101-115.
- Garibay, A., Vázquez-Duhalt, T. R., Sánchez, M., Serrano, L., y Martínez, A. (2009). Biodiesel a Partir de Microalgas. *Biotecnología*, 13:38-66.
- González, A.D., Kafarov, V., Guzmán, A. (2009). Desarrollo de métodos de extracción de aceite en la cadena de producción de biodiesel a partir de microalgas. *Prospect*, 7:53-60.
- Guillen, H. (2010). Breve historia de los biocombustibles. Visitado el 16/01/2015 en: <http://www.terra.org/categorias/articulos/breve-historia-de-los-biocombustibles>
- Maceiras, R., Cancela, A., Rodríguez, M., Sánvhez, A., Urréjola, S. (2010). An Innovative Biodiesel Production. *Chemical Engineering Transactions*, 19, 97-102.

- Mahapatra, D.M., Chanakya, H.N., Ramachandra, T.V. (2012). Euglena sp. as a suitable source of lipids for potential use as biofuel and sustainable waste water treatment. Visitado el 17/01/2015 en: http://wgbis.ces.iisc.ernet.in/energy/water/paper/jap_euglena/jap_euglena.pdf
- Mallick, N., Mandal, S., Singh A.K., Bishai M., Dash, A. (2011). Green Microalga *Chlorella vulgaris* as a Potential Feed stock for Biodiesel, *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 87:137-145.
- Nagaraja, Y.P., Biradar, C., Manasa, K.S. , Venkatesh, H.S. (2014). Production of biodiesel by using microalgae (*Botriococcus braunii*). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 3: 851-860.
- Olmedo, F. (2009). Biodiésel de Algas. Proceso de producción de biodiésel utilizando algas. Visitado el 06/01/2015 en: <http://www.biodisol.com/biocombustibles/biodiesel-de-algas-proceso-de-produccion-de-biodiesel-utilizando-algas-energias-renovables-biocombustibles-cultivos-energeticos/>
- Organización Latinoamericana de Energía (2012). Biocombustibles a partir de algas marinas. Visitado el 14/01/2015 en: <http://www.olade.org/sites/default/files/coordinaciones/observatorio/BIOCOMBUSTIBLES%20A%20PARTIR%20DE%20ALGAS%20MARINAS-2.pdf>
- Otero, C. (2011). Producción de nuevos biocombustibles para automoción. Cuadernos de la fundación general. CSIC. Visitado el 11/01/2015 en: http://www.fgcsic.es/lychnos/es_es/articulos/produccion_de_nuevos_biocombustibles_para_automocion
- Penelas, S. (2011). Vigo lidera un proyecto europeo de cultivo de algas para limpiar zonas degradadas y obtener biodiesel. Visitado el 10/01/2015 en: <http://www.farodevigo.es/gran-vigo/2011/02/04/vigo-lidera-proyecto-europeo-cultivo-algas-limpiar-zonas-degradadas-obtener-biodiesel/515305.html>
- Plata, V., Kafarov, V., Moreno, N. (2009). Desarrollo de una metodología de transesterificación de aceite en la cadena de producción de biodiesel a partir de microalgas. *Prospect*, 7:35-41.
- Rico, J. (2014). Biodiesel y biogás a partir de microalgas más eficientes (resultados del proyecto Energreen). Visitado el 15/01/2015 en: <http://biodiesel.com.ar/8300/biodiesel-y-biogas-a-partir-de-microalgas-mas-eficientes>
- Roldan, J. (2012). Energías renovables. Lo que hay que saber (segunda edición). S.A. Ediciones paraninfo.
- Rubianes, J. (2011). Estudio técnico-económico de producción de biodiesel mediante algas. ICAI-Universidad pontificia Comillas. Madrid.
- Ruiz Del Árbol, M. (2012). Algas + porquería = ¿biocombustible? Visitado el 11/01/2015 en: http://sociedad.elpais.com/sociedad/2012/03/13/actualidad/1331642599_735363.html
- Scott, C.J., Varun, B. (2010). Modeling Algae Grown in an Open-Channel Raceway. *Journal of Computational Biology*, 17:895-906.
- Twenergy. (2011). Biodiesel ventajas y desventajas. Visitado el 15/01/2015 en: <http://twenergy.com/a/biodiesel-ventajas-y-desventajas-196>
- Universidad de Alicante (2013). Investigadores de la UA diseñan un fotobiorreactor para producir biocombustible con algas marinas. Visitado el 16/01/2015 en: <http://web.ua.es/es/actualidad-universitaria/2013/mayo2013/mayo2013-20-26/investigadores-de-la-ua-disenan-un-fotobiorreactor-para-producir-biocombustible-con-algas-marinas.html>
- Valera, D. (2013). Las microalgas marcan la pauta en innovación. Visitado el 08/01/2015 en: http://www.all-gas.eu/Documents/2013.01.29_Las_microalgas_Innovam%C3%A1s_.pdf