

# DOSSIER

## ENERGÍAS ALTERNATIVAS

### BIOCOMBUSTIBLES: EL CASO DE LAS ALGAS

*Las algas como una opción alternativa y sustentable en la provisión de una forma de energía esencial: Biocombustibles de tercera generación.*

**Carolina Bagnato**

El consumo de energía aumenta conforme crecen las sociedades modernas y la demanda de industrialización de los países en vías de desarrollo. Esta situación lleva a la búsqueda de más y nuevas fuentes de energía para alimentar distintas necesidades, desde el consumo energético de un hogar, el de procesos industriales con consumos de distinto tipo, hasta combustibles líquidos en sus distintas variantes para abastecer el transporte. Una de las principales fuentes de energía comúnmente utilizada para suplir los distintos requerimientos energéticos es el petróleo. Esta mezcla singular de compuestos hidrocarbonados deriva de procesos de fosilización y larga acumulación de restos de microorganismos, animales y vegetales. Si bien la industria del petróleo resultó ser sumamente exitosa, desde un tiempo a esta parte se han identificado una serie de problemas con este material y la tecnología asociada a su explotación. El principal inconveniente es que se trata de un recurso no renovable, por lo que, llegado un punto, los depósitos de petróleo no alcanzarán para suplir la demanda mundial. Por otra parte, tanto las actividades de explotación como la combustión de este combustible son altamente contaminantes. En este contexto surge la búsqueda de formas de energía denominadas renovables y alternativas. Además, a esta búsqueda se suma la dimensión de sustentables, lo que significa que las alternativas no solo deben poder suplantar las distintas formas requeridas y

necesidades actuales, sino que además deben impactar lo menos posible en nuestro entorno y en el ambiente. Dentro de esta búsqueda quienes han tenido un desarrollo y crecimiento destacable son los biocombustibles.

#### Biocombustibles

Los biocombustibles son combustibles de origen biológico, derivados de biomasa, y representan una alternativa a los combustibles fósiles provenientes del petróleo. Según su origen se clasifican en biocombustibles de primera, segunda y tercera generación. Los de primera generación son los derivados de especies vegetales, o sea de plantas. Este es el caso del biodiesel en donde los aceites extraídos de cultivos más o menos oleaginosos - tales como la soja- se transforman en ésteres de metanol, la forma química de este combustible. Otro ejemplo de este tipo lo constituye el bioetanol, donde a partir de los azúcares de plantas como el maíz o la caña de azúcar se produce el biocombustible. Es importante destacar que la producción de este tipo de biocombustibles requiere del uso de tierras cultivables, para sostener los cultivos, y que varias de las especies comúnmente utilizadas compiten con la producción y demanda del mercado alimenticio. Los biocombustibles de segunda generación apuntan a generar una alternativa a esta situación, proponiendo la utilización de desechos de la industria alimenticia, como por ejemplo el bagazo de la caña de azúcar o la grasa animal, para producir bioetanol y biodiésel, respectivamente. En la búsqueda de más y nuevas alternativas surgen los biocombustibles de tercera generación, que recomiendan el uso de biomasa, proveniente de microorganismos, para la producción de este tipo de combustibles. En este contexto, desde hace ya varias décadas, las algas han sido propuestas como excelentes candidatas para tal fin. Entre las características que las hacen especialmente atractivas, las que más destacan son que se trata de organismos fotosintéticos que pueden crecer usando la luz solar y dióxido de carbono como fuentes de energía y carbono. Además, pueden crecer en aguas salobre y marina, no aptas para consumo, así como en aguas residuales tales como los

**Palabras clave:** Biodiésel, biomasa algal, desechos, energías renovables, sustentabilidad.

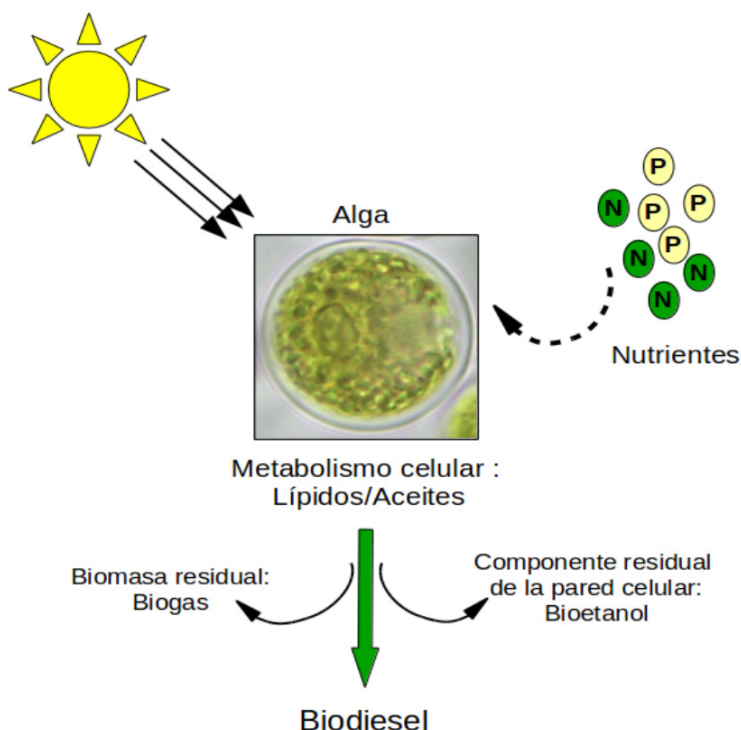
#### Carolina Bagnato<sup>1</sup>

Dra. en ciencias básicas y aplicadas  
carolina.bagnato@cab.cnea.gov.ar

<sup>1</sup> Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), Centro Atómico Bariloche (CAB), Instituto de Energía y Desarrollo Sustentable.

Recibido: 08/04/2022. Aceptado: 30/05/2022.

# DOSSIER



**Figura 1. Las algas como fábricas celulares de biomasa en un proceso impulsado por energía solar y nutrientes. El esquema muestra una síntesis del proceso por el cual las células de algas (foto central), pueden mediante el metabolismo celular (fotosíntesis y otras vías metabólicas) transformar la energía solar, el dióxido de carbono y los nutrientes en biomasa. Luego esta puede ser utilizada en la producción de biocombustibles: biodiésel, bioetanol, biogás. N: nitrógeno; P: fósforo..**

efluentes domésticos. Por otra parte sus cultivos pueden establecerse en zonas áridas de tierras poco fértiles, evitando su superposición con cultivos de la industria alimenticia y de esta manera la competencia con los mismos. A diferencia de las plantas, las algas poseen ciclos de vida cortos con tiempos de duplicación de su biomasa que, dependiendo de la fase del cultivo, puede ser de unas pocas horas. En relación con el tipo de biocombustible que de la biomasa de estos organismos se puede obtener, resulta interesante que distintos componentes de la biomasa algal podrían utilizarse para la producción de bioetanol y biodiésel. Más aún, la biomasa de algas puede usarse también en la generación de biogás. La Figura 1 presenta una síntesis del proceso y producción de distintas corrientes de biocombustibles representada sobre la estructura de un alga. El esquema grafica el potencial de la biomasa de algas y los principales insumos que se requieren para su desarrollo.

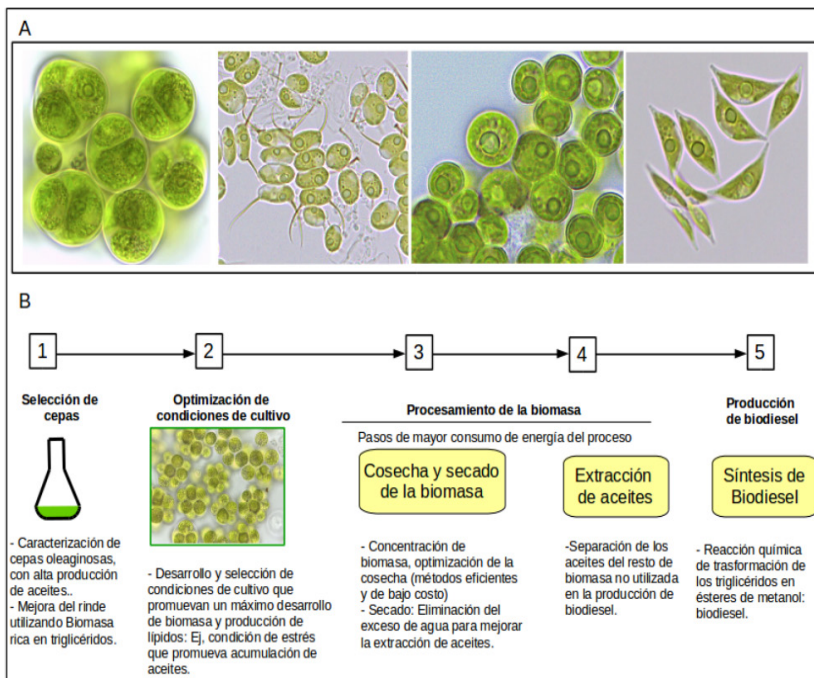
## Biocombustibles de tercera generación: las algas

Como mencionamos anteriormente, las algas representan un grupo diverso de organismos cuya característica común es la de ser capaces de realizar fotosíntesis. Las hay de diferentes tamaños, microscópicas -denominadas microalgas-, y otras observables a simple vista, cuyos tamaños van desde unos pocos centímetros hasta varios metros, denominadas macroalgas. Son organismos acuáticos que habitan en agua dulce, salobre y marina.

También pueden vivir en ambientes extremos como puede ser el Río Agrío en la provincia de Neuquén, donde el agua es muy ácida, así como en estanques o piletas de desechos industriales donde están sometidas a distintos compuestos tóxicos. Esto muestra la versatilidad de estos organismos y su capacidad de resistir y adaptarse a diferentes condiciones ambientales. En la Figura 2A, se muestran distintas especies de algas, algunas aisladas de ambientes naturales y de ceparios (ver Glosario). Las fotos fueron tomadas en microscopio de campo claro, a partir de cultivos vivos, sin fijación ni tinción. La coloración que se observa, en tonos de verde, corresponde a los pigmentos fotosintéticos presentes en las algas. En las fotos se puede apreciar la diversidad de estos organismos en cuanto a su morfología y hábitos de vida. Por ejemplo: algunas crecen separadas, otras agrupadas en cenobios, algunas presentan ornamentaciones como espinas en tanto que otras poseen superficies lisas.

En relación con los biocombustibles, las microalgas han sido consideradas para la producción de biodiésel de tercera generación. Actualmente, el biodiésel está pensado para cortar y/o suplementar el diesel derivado de petróleo. Tal es así que los países establecen y requieren de diferentes cantidades de corte. En un proceso de transición aún, el porcentaje de corte es bajo, pero se prevé que vaya aumentando con el tiempo, por lo que se espera que la demanda de biodiésel crezca. El biodiésel se produce a partir de los lípidos de las algas (ver Glosario), específicamente con los triglicéridos (ver Glo-

# DOSSIER



**Figura 2. Diversidad de algas y pasos en la producción de biodiésel de algas. En el panel A, se pueden ver fotos de distintas especies/cepas de algas tomadas por microscopía óptica de campo claro (magnificación 100X). Todas las cepas forman parte del cepario del Instituto de Energía y Desarrollo Sustentable, Centro Atómico Bariloche, Comisión Nacional de Energía Atómica. Las fotos fueron tomadas en el laboratorio del Instituto a partir de cultivos en crecimiento, sin fijar ni teñir. La coloración que se observa es la característica debido a los pigmentos fotosintéticos. En el panel B, se resume el proceso de producción de biodiésel en cinco pasos, el esquema permite ver la secuencia de las etapas, en qué consisten y los potenciales puntos de optimización del proceso.**

sario) comúnmente llamados aceites. El proceso implica una reacción química que transforma a los mismos en largas cadenas carbonadas, libres, que pueden entrar en combustión o ser quemados entregando energía. En términos químicos, las cadenas de carbono del biodiésel se parecen mucho a las del diesel derivado de petróleo y es por eso que funcionan como tal.

## ¿Qué es lo que las hace tan interesantes?

Algunas especies de algas tienen la capacidad de generar y almacenar una cantidad considerable de aceites, al punto tal de que un alto porcentaje de su biomasa -entre un 30% y un 60%- puede estar constituida por este tipo de sustancias. A la capacidad intrínseca de las algas de producir aceites, se suma el hecho de que hay ciertas condiciones en las que pueden aumentar el contenido de aceites a nivel celular y por ende de los cultivos. La forma de inducir u "obligarlas" a sintetizar y almacenar más aceites es estresándolas. Por algún motivo, no muy claro aún, cuando se ejercen distintos tipos de estrés sobre los cultivos, se tiende a frenar su crecimiento y a acumular aceites. Originalmente, se observó que cuando las algas eran privadas de nitrógeno en sus medios de crecimiento, esto promovía el aumento de aceites en los cultivos. Luego se comprobó que otros tipos de estrés como la privación de otros nutrientes, el aumento del contenido de sales en el medio, o la alta intensidad lumínica, también tenían este efecto. Esto constituyó una estrategia para aumentar el rendimiento de los cultivos y de esta manera hacer más atractivo el proceso de producción de biodiésel a partir de este tipo de biomasa. La posibilidad de aumentar el rendimiento de los cultivos

hace que la biomasa que ciertas algas puedan generar sea una materia prima ideal para la producción de este combustible alternativo. En el interior celular los aceites forman estructuras esféricas que, en ocasiones, pueden ocupar gran parte del volumen celular. Durante el proceso de producción de biodiésel, este aceite debe ser extraído y modificado químicamente para su transformación en biocombustible. Para esto, la biomasa de algas que crece en suspensión en un medio acuoso, debe ser cosechada y el exceso de agua eliminado a través de un proceso de secado, para mejorar la eficiencia y los rendimientos de la transformación de aceites a biodiésel. La Figura 2 B, muestra la secuencia de pasos en el proceso de producción de biodiésel a partir de biomasa de algas. La Figura 3 muestra algunos ejemplos de algas oleaginosas, productoras de aceites, en condición de estrés, donde se puede apreciar la acumulación de los lípidos (aceites) en el interior celular.

## Las algas: una alternativa sustentable

Como se mencionó anteriormente, para las nuevas tecnologías no alcanza con ser renovables, sino que además deben mostrar buenos rendimientos en términos energéticos y económicos, y ser sustentables, lo que implica, entre otras cosas, que el proceso de producción propuesto no debe generar mayores impactos en el ambiente que los que producen las tecnologías vigentes. En este contexto, el trabajo con microalgas se encuentra en un continuo proceso de mejora, tanto en los rendimientos de aceites de la biomasa, como de los pasos asociados a la cosecha, extracción de aceites y transformación de éstos a biodiésel. Por otra parte, en relación con la

# DOSSIER

**Figura 3. Cepas de algas con alto contenido lipídico. Las fotografías corresponden a distintas especies de algas que fueron inducidas, por privación de nitrógeno, a producir aceites. En el panel (A), se muestran cultivos de la cepa C1, aislada de un humedal de la estepa rionegrina, en tanto que en (B) se muestra un cultivo de la especie *Chlamydomonas reinhardtii*, proveniente de la colección *Chlamy center* (USA). En ambos casos las células fueron fijadas y teñidas con el colorante específico para lípidos Oil Red O. En los paneles (C) y (D) se muestran fotos del género *Prototheca* sp., una cepa super-productora de aceites. Las fotos fueron tomadas de cultivos vivos, sin fijar, representan el mismo campo fotografiado con microscopía nomarski y de fluorescencia. La coloración verde fluorescente en (d) evidencia los lípidos en el interior celular teñidos con el colorante específico *bodipy*.**

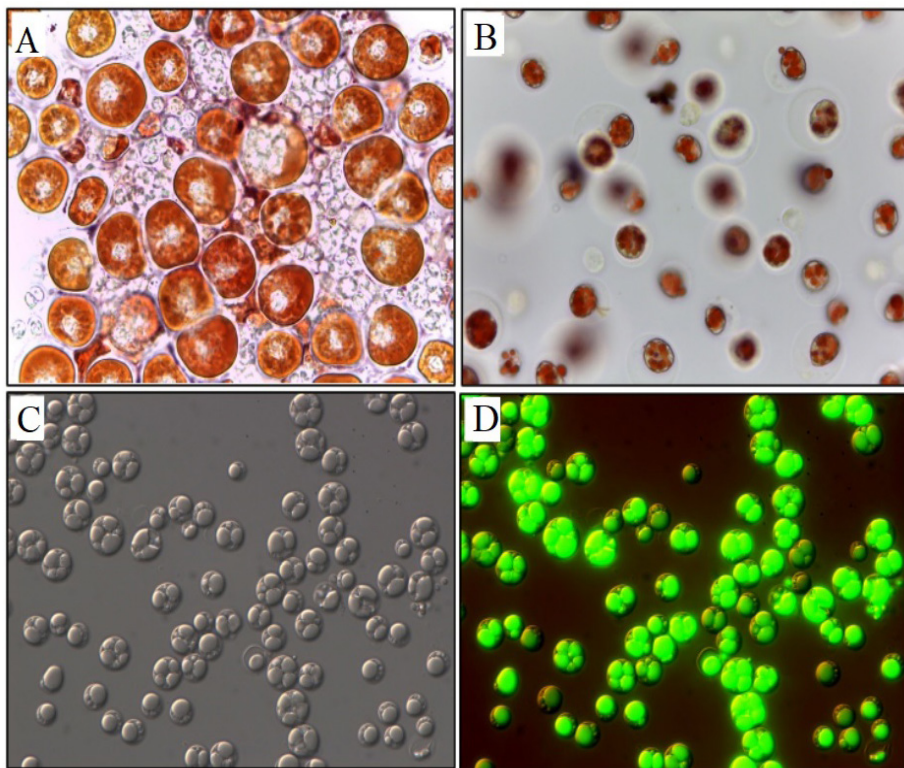


Imagen: gentileza de la autora.

sustentabilidad, se trabaja en la posibilidad de utilizar diferentes desechos y/o corrientes de residuos para llevar adelante el crecimiento de los cultivos. En este marco, el objetivo de estos trabajos es evaluar la posibilidad de, con los cultivos de algas, mitigar la generación de ciertos desechos y al mismo tiempo abaratar los costos de producción de biomasa usándolos como insumos del proceso. Entre las propuestas más comunes se encuentra la de usar el dióxido de carbono producido por procesos industriales. Recordemos que el dióxido de carbono es uno de los insumos básicos para la fotosíntesis. Lo que se hace es canalizar el gas dióxido producido por alguna industria e inyectarlo directamente en los cultivos. De esta manera no solo se logra promover el crecimiento de los cultivos a una mayor tasa, sino que también se consume, por transformación a biomasa, uno de los principales gases de efecto invernadero que contribuye al calentamiento global. En esta línea también se propone el uso de efluentes domésticos como "medio" de cultivo para las algas. El efluente no solamente da el sustento y medio líquido a los cultivos, sino que también ofrece nutrientes básicos como fósforo y nitrógeno, esenciales para su desarrollo. Ambos elementos se encuentran en grandes cantidades en los efluentes domésticos y deben ser removidos previo a su vuelco en cuerpos de agua. Desechos tales como el dióxido de carbono y los efluentes domésticos, pueden usarse como insumos del proceso de producción de biomasa de algas para la produc-

ción de biocombustibles. De esta manera el proceso de desarrollo de biomasa contribuye al tratamiento y mitigación de ciertas corrientes de residuos o desechos. Esto permite pensar en la posibilidad de acoplar procesos de remediación o saneamiento ambiental al de producción de energías alternativas a gran escala.

Otra de las formas en la que la tecnología de algas para producción de biocombustibles propone ganar en sustentabilidad, es mediante el aprovechamiento de toda la biomasa producida. Como dijimos, para producción de biodiésel esencialmente se procede a extraer los aceites y utilizarlos en la conversión a biocombustible. Sin embargo, en la biomasa residual queda una cantidad de materia y energía que puede recibir otros usos. Por ejemplo, los nutrientes como fósforo y nitrógeno y la biomasa residual podrían utilizarse en la preparación de enmiendas orgánicas, para el mejoramiento de tierras, o como suplemento dietario animal. La misma biomasa residual podría alimentar un sistema de producción de biogás por procesos fermentativos, contribuyendo a la generación de energía. También podría usarse como biosorbente en la biorremediación de metales en efluentes industriales.

Entonces, podemos resumir la sustentabilidad del proceso de producción de biocombustibles utilizando biomasa de algas en una serie de cuestiones. En primer lugar, las algas pueden crecer a base de usar desechos, transformando estos en un material útil. En este contexto hay que considerar que los cultivos de algas, serán

# DOSSIER

ya parte de los organismos que consumirán el dióxido de carbono que se genera durante la combustión de los biocombustibles que a partir de los mismos se produzca, contribuyendo de esta manera a reducir su propia huella de carbono (ver Glosario). Además, los cultivos y el desarrollo de biomasa de algas pueden usarse para mitigar el contenido de contaminantes como fósforo y nitrógeno, los cuales quedan contenidos en la biomasa residual del proceso de producción de biodiésel, desde donde pueden ser reutilizados. En este sentido, los cultivos de algas permitirían reciclar ambos nutrientes. Por último, el poder hacer un aprovechamiento de la biomasa residual aumenta la sustentabilidad del proceso porque podría mejorar el rendimiento económico del mismo y minimizar la generación de nuevos residuos.

## Estado actual de la tecnología

Los primeros trabajos en los que se propuso utilizar a las algas en aplicaciones biotecnológicas datan de la década del '50. Sin embargo, si bien los cultivos de algas a gran escala han resultado muy exitosos para aplicaciones, por ejemplo en la industria alimenticia, en la actualidad no se registran emprendimientos comerciales en escala industrial para la producción de biodiésel. Esto se debe esencialmente a que aún la tecnología encuentra una serie de cuellos de botella en términos energéticos. Hay partes del proceso como la cosecha y el secado de la biomasa que, al día de hoy, insumen más energía que la que el actual rendimiento de aceites puede solventar. Pese a esto, y dadas las múltiples ventajas mencionadas, junto a la necesidad de obtener una fuente renovable de combustibles líquidos, las investigaciones en el área continúan. En este contexto se trabaja en la obtención de cepas de algas que produzcan grandes cantidades de aceites, utilizando desechos como insumos del proceso de producción, con pasos de procesamiento de la biomasa optimizados. Dada la necesidad de combustibles líquidos renovables y alternativos, la expectativa en esta tecnología es alta.

## Resumen

La demanda de energía actual, sumado a que el petróleo es un recurso no renovable y altamente contaminante, requiere de la búsqueda de nuevas formas de energía renovables y sustentables. Dentro de esta problemática se enmarca la necesidad de generar opciones que puedan suplir, al menos en parte, la demanda de combustibles alternativos para el transporte. En el presente trabajo se introduce el concepto de biocombustibles, con énfasis en los llamados de tercera generación, y la opción que las algas constituyen para la producción de los mismos.

## Glosario

**Cepario:** colección de microorganismos que se utiliza para preservar la diversidad biológica y poner a los mismos a disposición de la comunidad.

**Efluentes domésticos:** aguas residuales que se originan en actividades del hogar. Se trata de aguas provenientes del uso sanitario, cocina y lavado en general.

**Huella de carbono:** indicador ambiental que contempla la totalidad de gases de efecto invernadero que genera un individuo, una organización, un evento o un proceso.

**Lípidos:** conjunto de sustancias orgánicas cuyo rasgo común es ser poco o nada solubles en agua y ser solubles en solventes orgánicos como por ejemplo cloroformo.

**Triglicéridos:** lípidos simples derivados de glicerol y ácidos grasos. Son el principal componente de la grasa animal y los aceites vegetales.

## Para ampliar este tema

- Acién Fernández, F. G., Fernández Sevilla, J. M. y Molina Grima, E. (2018). Contribución de las microalgas al desarrollo de la bioeconomía. Universidad de Almería. Mediterráneo Económico 31, [Disponible en Internet].
- Behera, S., Singh, R., Arora, R., Sharma, N. K., Shukla, M. and Kumar, K. (2015). Scope of algae as third generation biofuels. Biochemical Conversion Division, Sardar Swaran Singh National Institute of Renewable Energy, Kapurthala, Punjab, India. *Frontiers in Bioengineering and biotechnology*.
- Khan, M. I., Shin, J. H. and Kim, J. D. (2018) The promising future of microalgae: current status, challenges, and optimization of a sustainable and renewable industry for biofuels, feed, and other products.. *Microbial Cell Factories*, 17: 36.