

## BIODIESEL DE ALGAS

Francisco Marcos Martín <sup>(1)</sup>, José L. Almazán Gárate <sup>(2)</sup>, Carmen Palomino Monzón <sup>(2)</sup>

(1) ETSI Montes. Universidad Politécnica de Madrid.

(2) ETSI Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid.

## EL BIODIESEL

El biodiésel es un biocombustible líquido renovable que está compuesto por ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de lípidos renovables tales como aceites vegetales que se mezclan, en diferentes porcentajes, con gasoil. La producción de biodiésel puede representar en algunos casos una alternativa económica y social en la reducción de la contaminación. Además representa una solución a nuestra actual dependencia de los combustibles fósiles derivados del petróleo. Así, el metiléster, el bioetanol y el biobutanol de origen biológico se pueden usar de dos maneras: al 100% o mezclados en ciertos porcentajes variables con el gasoil (dando lugar al combustible llamado biodiésel) o la gasolina.

El biodiésel es un biocombustible considerado “ecológico” por algunos autores, es renovable, pero no ilimitado. Se obtiene a mezclando gasoil con un metiléster o etiléster a partir de un proceso de transesterificación al combinar aceite más alcohol y un catalizador, pueden ser aceites vegetales o animales. Algunas de las ventajas del uso del biodiésel son las siguientes:

1.- No se necesitan grandes cambios en el motor. Se precisan algunos cambios, no muy grandes, en las partes del motor que tengan caucho o gomas que son atacadas por algunos tipos de metilésteres que las estropean o llegan a disolverlas. También hay que tener cuidado con los inyectores por los contenidos en gomas de algunos biodiésel.

2. - Es biodegradable e inocuo para el ambiente. El biodiésel, a diferencia del petróleo y del gasoil, es un combustible biodegradable; por ello si hay derrames en el transporte marítimo de biodiésel no aparecen los problemas que aparecen con el petróleo.

3.- Genera empleo en zonas rurales. El biodiésel puede obtenerse a partir de aceites vegetales puros o de aceites vegetales usados. Si se hace a partir de aceites vegetales puros, la generación de estos aceites provoca la creación de empleo en zonas rurales, en el cultivo de las especies vegetales empleadas para producir aceites (colza, girasol, soja, palma, jatrofa o piñón manso, ricino, higuera,....)

4.- Diversifica las fuentes de energía. Al utilizarse el biodiésel, como ocurre con el empleo de cualquier otro biocombustible sólido (paja de cereales, leñas, astillas, pelets, briquetas, carbón vegetal, etc.), líquido (bioetanol, biobutanol, e-diesel, bio-oil, etc.) o gaseoso (biogás de vertedero, biogás de residuo ganadero, etc.) la matriz energética se diversifica. Ello es una gran ventaja, pues permite también una diversificación de la dependencia económica en los países que no tienen petróleo ni gas natural.

5. - Reconocimiento de los derechos de CO<sub>2</sub>. Como ocurre con el empleo de otras fuentes de energías renovables, pueden venderse derechos de CO<sub>2</sub>.

En España, la competencia desleal está amenazando la supervivencia de la industria española de producción de biodiésel. Ello es debido a la entrada creciente en el mercado nacional de biodiésel subvencionado en Estados Unidos –con 0,20 €por litro– puede provocar el cierre de algunas plantas productoras. Con el fin de atajar esta situación de crisis, la Asociación de Productores de Energías Renovables (APPA) está reclamando al Gobierno la adopción de medidas urgentes, como sería, entre otras, modificar la actual legislación fiscal para evitar que los biocarburantes importados con subvención en origen se beneficien también al llegar a España del tipo cero en el Impuesto Especial de Hidrocarburos (IEH). Por ello se están buscando nuevas materias primas, no agrícolas, para obtener biodiésel, como las algas.

## LAS ALGAS

Las algas son muy variadas y se pueden clasificar siguiendo diferentes criterios. Por el tipo de agua donde viven pueden ser de agua dulce y de agua salada, por el color rojas, pardas y verdes. Las azul verdoso algunos autores las clasifican como bacterias y otros como algas, y las diatomeas, que constituyen buena parte del fitoplakton marino y que tienen membrana silíceas, también son consideradas como algas por muchos autores.

Las algas son plantas con función clorofílica y que no tienen tronco ni raíces.

Otros clasifican las algas en 17 clases que se diferencian por seis criterios:

- 1.- Pigmentos fotosintetizadores.
- 2.- Estructura del cloroplasto.
- 3.- Naturaleza química de la pared celular.
- 4.- Naturaleza química y almacenamiento de los productos de reserva.
- 5.- Características asociadas al aparato flagelar.
- 6.- Características citológicas.

Por el tamaño las algas se clasifican en microalgas (monocelulares y pluricelulares) y macroalgas.

## BIODIESEL DE ALGAS.

De las algas se extraen diferentes productos que pueden ser utilizados en el sector farmacéutico, alimenticio, de la cosmética y en el sector energético. Entre estos productos destacan los ficoloides o hidrocoloides polisacáridos, que son unos polisacáridos complejos obtenidos de las algas de las divisiones *Phaeophyceae* (feofitas) y *Rhodophyceae* (rodófitas), que forman sustancias coloidales cuando son dispersados en agua. Los polisacáridos recuperados de algas, más importantes son los alginatos, el agar, la laminarina, fucoidina, galactanos, y la carragenina, que tienen diversos usos. La composición química de algunas algas expresada en base a materia seca (%) es la siguiente:

Strain	Proteínas	Carbohidratos	Lípidos	Ácido nucleico
<i>Scenedesmus obliquus</i>	50-56	10-17	12-14	3-6
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	47	-	1,9	-
<i>Scenedesmus dimorphus</i>	8-18	21-52	16-40	-
<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>	48	17	21	-
<i>Chlorella vulgaris</i>	51-58	12-17	14-22	4-5
<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	57	26	2	-
<i>Spirogyra sp.</i>	6-20	33-64	11-21	-

<i>Dunaliella bioculata</i>	49	4	8	-
<i>Dunaliella salina</i>	57	32	6	-
<i>Euglena gracilis</i>	39-61	14-18	14-20	-
<i>Prymnesium parvum</i>	28-45	25-33	22-38	1-2
<i>Tetraselmis maculata</i>	52	15	3	-
<i>Porphyridium cruentum</i>	28-39	40-57	9-14	-
<i>Spirulina platenses</i>	46-63	8-14	4--9	2-5
<i>Spirulina maxima</i>	60-71	13-16	6-7	3-4,5
<i>Synechococcus sp.</i>	63	15	11	5
<i>Anabaena cilíndrica</i>	43-56	25-30	4-7	-

Fuente: Becker, (1994).

De las algas con altos contenidos en lípidos se puede extraer aceite, del que se obtiene, mediante la transesterificación, metiléster, que es denominado comúnmente biodiésel. Por otro lado, de las algas con altos contenidos en azúcares, almidón o celulosa y otros carbohidratos se puede obtener bioetanol. Actualmente, en todo el mundo, se está considerando el uso de las algas para obtener biodiésel. Ello es debido a que las materias primas que se emplean ahora entran en competencia con los usos agrícolas y a que la productividad, medida en litros/ha, es más alta en los cultivos de algas que con cultivos agrícolas.

Las algas, tanto microalgas como macroalgas, pueden ser cultivadas tanto en estanques abiertos como en recipientes cerrados llamados biorreactores o fotobiorreactores, como se recoge en la tabla siguiente.

Sistemas de producción de microalgas para biodiésel			
SISTEMA		Ventajas	Inconvenientes
Estanques (Ponds)	Al aire libre, abiertos (open)	Costes de instalación	Control de CO <sub>2</sub>
		Costes de mantenimiento	Control de otras variables
Biorreactores	Cubiertos	Control de variables, se intentan asemejar a los biorreactores	Costes de instalación
			Costes de mantenimiento
Biorreactores	Plásticos	Costes de instalación	Durabilidad, degradación de los plásticos
		Costes de reposición	
	Mucha variabilidad de elección	Gastos de reposición	
	Vidrios	Control	Costes de instalación

El objetivo de todos los biorreactores y de los estanques (ponds) es aprovechar al máximo la radiación solar incidente, ya que en algunos casos la productividad es directamente proporcional a la esta radiación captada. Actualmente se están investigando los mejores sistemas, pues no hay una unanimidad de criterios.

Clasificación de los biorreactores de microalgas			
SISTEMA		Ventajas	Inconvenientes
Verticales	Plásticos	Aceptan grandes volúmenes de agua, y obtienen grandes producciones	Gastos energéticos de bombeo de agua
		Facilidad de control	Problema con las sombras
			Costes de mantenimiento
	Vidrio	Aceptan grandes volúmenes de agua, y obtienen grandes producciones	Altos gastos energéticos
		Facilidad de control	Problemas con las sombras
		Más duraderos	Altos costes de instalación
Horizontales	Plásticos	No hay problemas de sombra	Si son profundos no llega la radiación a las partes más profundas
	Vidrio	Menores consumos de energía de bombeo	
		Más duraderos	

En los biorreactores o fotobiorreactores donde se cultivan las algas se deben controlar múltiples variables físicas y químicas. Las más importantes, así como los valores que deben tomar, según el manual de Algae Link, se recogen en la tabla siguiente:

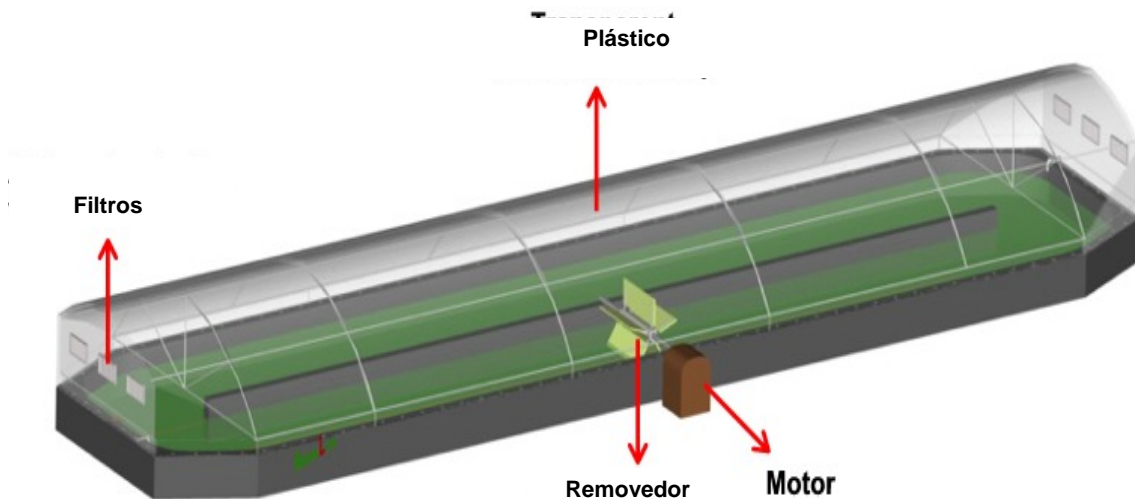
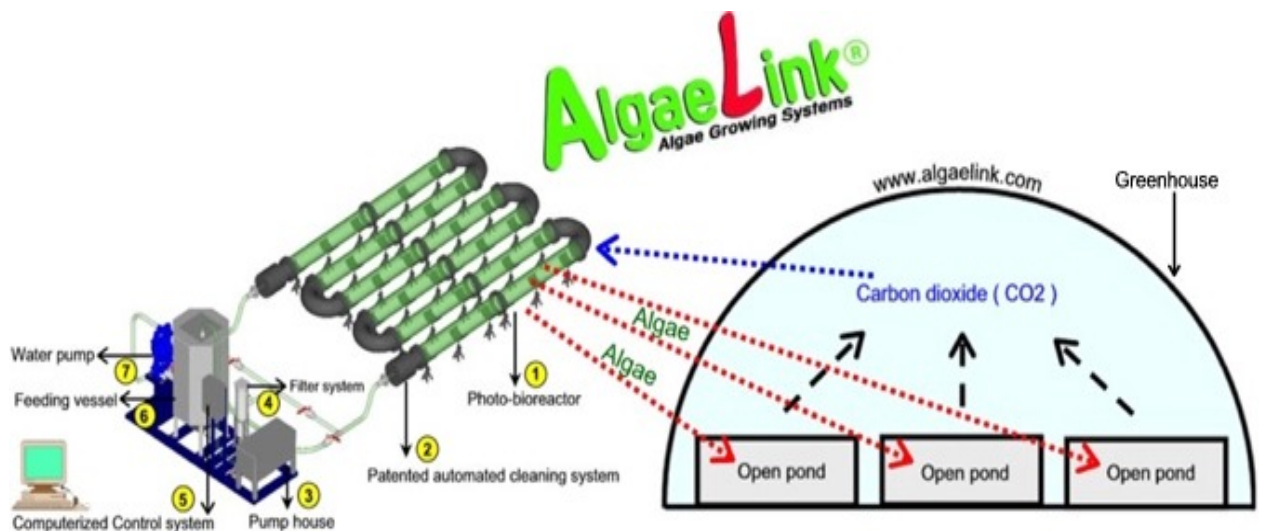
Principales variables a controlar en un fotobiorreactor de microalgas (manual de Algae Link)				
Variable		Unidad	Mínimo	Máximo
Física	Temperatura	°C	5	50
	Turbidez/biomasa			
	Conductividad eléctrica	mS		199,9
	Luz			
Química	CO <sub>2</sub>	Ppm	400	40000
	O <sub>2</sub>	%	0	100
	pH		2	12
	pO <sub>2</sub>	Ppm	0	20

La luz necesaria es variable y depende del alga utilizada, del lugar de cultivo, del día del año y de la hora del día. Deber ser directa, si es posible; aunque en algunos cultivos se emplean algas que aprovechan luz difusa.

## ALGUNOS EJEMPLOS

A continuación se presentan algunos ejemplos de cultivo de algas; bien para producir aceites, bien para producir otro tipo de productos.

La casa Algae Link lleva tiempo comercializando productos para producción de microalgas. Empezó con biorreactores verticales, posteriormente horizontales, ambos en forma tubular. Actualmente también oferta estanques con y sin invernadero. En su página web pueden verse con detalle los costes de los productos ofertados y las condiciones de sus ofertas.



Fuente: Algae Link

Algae Link vende cada estanque por 45.000 €, las dimensiones de cada estanque son  $77 \text{ m} \cdot 12 \text{ m} = 924 \text{ m}^2$ . Es decir:  $45.000 \text{ €} / 924 \text{ m}^2 = 48,701 \text{ €/m}^2$

Los consumos de energía eléctrica para 1,000 m<sup>2</sup> de estanque de algas, según Algae Link, son:

Operación	Consumo diario (kWh)	Consumo anual (kWh)
Batidor	1,23	441,2
Bombeo	2,01	722,7
<b>Total</b>	<b>3,24</b>	<b>1163,9</b>

En estos consumos no figuran los de la centrifugación de las microalgas, la transesterificación y los procesos necesarios para que el metiléster cumpla con las especificaciones UNE 14214.

En Hawái, la empresa Cianotech, una de las pioneras y más avanzadas del mundo, utilizando el alga *Spirulina* anuncia que produce más de 350 t/año, con una superficie de estanques de 10 ha y 41.000 m<sup>3</sup> de agua. Esto supone 35 t/ha, muy por encima de las 5,5 t/ha que pueden conseguirse con cultivos de palma de aceite.

Según un estudio publicado por Ingeniería Sin Fronteras, las principales cuatro especies herbáceas utilizadas en el mundo para producción de aceites son la colza, el girasol, la soja y el ricino, que producen aceites distintos, estos aceites, sus rendimientos y su contribución a la producción mundial son los que aparecen en la tabla siguiente [\*]. La tabla no recoge la palma que es leñosa.

Principales especies herbáceas utilizadas para producir biodiésel					
Clima	Especie	% aceite	Aceites predominantes	kg materia prima/kg aceite	Producción mundial (1000) aceite
Templado	Colza	36-38	Erúcido	2,77	14.141.936
	Girasol	44-46	Oléico Linoleíco	2,77	10.195.091
	Soja	19 -22	Oléico Linoleíco	4,5 – 5	33.297.013
Tropical	Ricino	40-50	Ricinoleíco	2-2,5	1.383.353 (semilla)

[\*] Herreras Yambanis Y. et al. 2007. Producción de biodiésel. Aplicaciones a países en desarrollo. Ingeniería Sin Fronteras - UPM. Madrid.

Con especies vegetales las productividades, en litros/(ha·año) son:

- 1.- Colza (*Brassica napus*): en secano: 800 – 1250, en regadío: 850 -1500
- 2- Girasol (*Helianthus annuus*), en secano: 600-1100, en regadío: 800-1425.
- 3.- Soja (*Glicine max*): 420 – 680.
- 4.- Ricino/tartago (*Ricinus communis*): 1200- 1700
- 5.- Palma (*Elaeis guineensis*): 3500- 5550
- 6.- Jatrofa/tempate/piñón manso/ piñón (*Jatropha curcas*): 1590 – 3500

Un resumen, comparativo, de productividades puede verse en la tabla siguiente:

	Grano/biomasa	Aceite		
	t/(ha·año)	t/(ha·año)		Lugar
Especies vegetales				
Soja	3,2	0,8-1,2		Brasil, Estados Unidos
Girasol	1,6 - 1,9	0,85-0,9		Europa
Colza	2,5	0,8 - 1,3		Europa
Palma	20 – 25	4,4 - 5,0		Malasia
Jatrofa	5-15	1,6-3,5		África
Algas			Ocupación alga	
<i>Chlorella</i>	160-190	70-75	40%	Nuevo Méjico
<i>Dunaliella</i>	230-260	140-145	57%	Israel
No citada		10000	Variable	Alicante (España)
No citada		65-75	Variable	Sevilla (España)
No citada		3000	Variable	Argentina, Oil Fox

Tras la lectura de los datos anteriores podría pensarse que el futuro del biodiésel está en el cultivo de algas. No es cierto, queda mucho por investigar, por comprobar y los costes de la producción de algas son muy altos. Es muy difícil proporcionar datos de costes pues son muy variables; pero los últimos manejados señalan que el biodiésel de algas es hasta 1,5 ó 2,5 veces más caro que el obtenido del aceite de palma. Además las algas precisan grandes cantidades de agua para su cultivo.