

# Uso de biocombustibles para la rápida descarbonización del sector marítimo

Josep Sanz Argent

Transición Energética

*Biocombustibles marinos, Descarbonización*

*El sector marítimo afronta una transformación profunda impulsada por los objetivos internacionales de descarbonización y por una regulación ambiental cada vez más exigente. En este contexto, los biocombustibles se presentan como una de las alternativas más viables para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero a corto y medio plazo, gracias a su compatibilidad con gran parte de la flota y de las infraestructuras de suministro existentes. Entre 2021 y 2024, el consumo de biocombustibles en los principales centros mundiales de bunkering se multiplicó por cuatro, reflejando el creciente interés del sector por esta solución.*

*El término biocombustible engloba una amplia variedad de productos obtenidos a partir de materias primas de origen vegetal o animal. Aunque sus emisiones directas son similares a las de los combustibles fósiles equivalentes, sus ventajas se hacen evidentes al considerar todo el ciclo de vida, donde pueden alcanzarse reducciones de emisiones superiores al 90 % dependiendo de la materia prima y del proceso de producción empleado. Sin embargo, su despliegue a gran escala enfrenta desafíos relacionados con el coste, la disponibilidad de materias primas sostenibles y el desarrollo de cadenas logísticas adecuadas.*

*Los biocombustibles están llamados a desempeñar un papel relevante en la transición energética del transporte marítimo, complementando otras soluciones como el metanol renovable, el amoníaco verde o la electrificación.*

El sector marítimo está viviendo en los últimos años un proceso de transformación profunda como consecuencia tanto de la estrategia de **descarbonización** como de las **restricciones medioambientales** presentes y futuras. Una iniciativa muy relevante que inició importantes movimientos en el sector y abrió la puerta a nuevas medidas legislativas fue la entrada en vigor de límites de azufre más restrictivos, iniciativa conocida como **Sulphur Cap**. En ese caso, las navieras optaron mayoritariamente por tecnologías bastante continuistas. El cumplimiento de los límites de azufre más restrictivos en la mayor parte de casos o bien utilizando **combustibles bajos en azufre** o con la instalación de **scrubbers**, y ninguna de las dos opciones implica cambios radicales en las plantas energéticas de los barcos. En algunos casos se optó por el uso de **Gas Natural Licuado**, una opción menos continuista y con mayor potencial futuro, aunque esto necesariamente requirió de importantes esfuerzos, no solo por parte de las navieras con la adaptación de los buques, sino también todos los elementos de la cadena de suministro de combustible para adaptarse a un nuevo combustible con características muy diferentes a las convencionales.

El **Sulphur Cap** significó un salto en los requerimientos al sector muy importante que se ha ido haciendo más restrictivo con los años, como por ejemplo con la conversión del Mediterráneo en zona ECA (Emission Control Area) en el año 2025. Si se realiza un ejercicio comparativo con el transporte por carretera, los límites actuales en el sector marítimo, son del mismo orden de magnitud de los que tenían los gasóleos terrestres hace 30 años (0,2 % en 1994), que fueron reduciéndose progresivamente hasta llegar a unos límites 200 veces más exigentes (10 ppm) en tan solo 15 años.

En el resto de emisiones, desde la **norma Euro 0** vigente a partir del año 1989, hasta la actualidad, se han reducido los límites 40 veces en el caso de óxidos de nitrógeno (NOx) y se ha pasado a restringir la cantidad de partículas emitidas, no solo en cantidad total sino también en número. Aunque no se puede hacer un paralelismo directo, ya que los tiempos en ambos sectores son distintos, sí que hace presagiar que la legislación medioambiental del sector marítimo seguirá endureciéndose significativamente en los próximos años.

Aunque posiblemente los factores más importantes para el sector van a ser las estrategias de descarbonización, tanto a nivel europeo con el **Green Deal** y “**Fit for 55**” como la hoja de ruta de la Organización Marítima Internacional (OMI) con el **Net Zero Framework**. Ambas comparten como objetivo la **casi neutralidad en carbono** para el año 2050. Esto no es posible conseguirlo simplemente con medidas de eficiencia energética, por lo que van a ser necesarias **tecnologías cero emisiones** para el **sector marítimo**. Además, estas deberán llegar pronto, teniendo en cuenta unos tiempos de vida de los barcos de aproximadamente 30 años, las primeras incorporaciones significativas de buques cero emisiones deberían empezar a llegar como muy tarde a partir del año 2030, lo que implica que en menos de 5 años deberán existir tecnologías maduras y rentables para el sector.

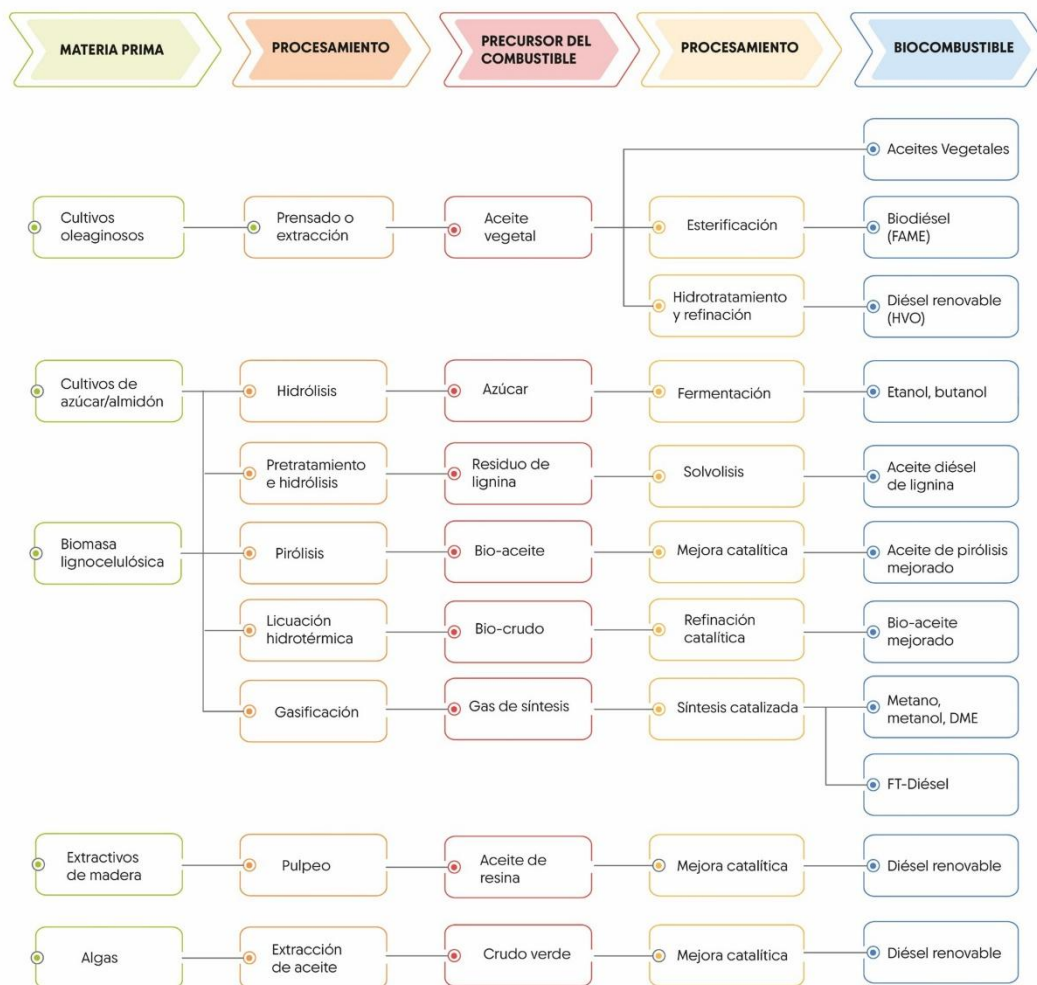
## Biocombustibles

Los **biocombustibles** pueden ejercer un importante papel en esta transición hacia un sector marítimo con cero emisiones globales y están recibiendo mucho interés por parte de algunas navieras. De hecho, entre el 2021 y el 2024 se ha **multiplicado el suministro de biocombustibles** en los principales polos mundiales de bunkering (Singapur y Rotterdam) por cuatro, pasando de 0,3 a 1,3 millones de toneladas de mezclas de biocombustibles (Sekkesæter y Henriksen 2025). Desde el punto de vista tecnológico, el uso de algunos biocombustibles requiere cambios poco importantes, tanto en los buques como en la cadena de suministro de combustible, por lo que sería posible generalizar su uso de forma sencilla. Una ventaja que comparten todos los biocombustibles es que son muy **bajos en azufre**, por lo que cumplen la normativa tanto actual como futuras. Por contrapartida, no son combustibles con cero emisiones contaminantes, son **más caros**, no tienen desarrollados **canales de distribución** y hay dudas respecto a su **disponibilidad** a gran escala.

El término **biocombustibles** engloba a un conjunto de combustibles cuyo origen es vegetal o animal, aunque este abanico incluye sustancias con características y propiedades muy diferentes. Estrictamente hablando, tanto el biogás procedente de un vertedero como el gas sintético procede de la gasificación de biomasa, ambos combustibles gaseosos, serían biocombustibles y presentan propiedades completamente diferentes a, por ejemplo, un cualquier biocombustible líquido sustitutivo del diésel. No obstante, es muy común reservar el término para **combustibles líquidos** y en este subgrupo se centrará el resto del texto. Tampoco se han incluido los **combustibles líquidos sintéticos** (producidos a partir de hidrógeno renovable y, en la mayor parte de casos, dióxido de carbono) que, aunque comparten muchas similitudes en propiedades con algunos biocombustibles, sus particularidades hacen aconsejable dejarlos fuera de este análisis.

Dentro de los **combustibles líquidos**, la variedad de compuestos bajo el paraguas del término biocombustibles es muy grande, incluyendo sustancias tan diversas y con propiedades tan diferentes como los alcoholes, los ésteres o las parafinas. La Ilustración 1 resume los **principales grupos de biocombustibles** y muestra los posibles caminos teniendo en cuenta el origen y la forma de procesar la materia prima, lo que da una imagen de la gran variedad de posibilidades.

Ilustración 1| Diferentes rutas de conversión de las materias primas en biocombustibles, incluidos los convencionales y avanzados



Fuente: Elaboración propia a partir del trabajo de (Hsieh y Felby 2017)

Dentro del conjunto de biocombustibles, existe un subgrupo que puede ser casi directamente sustitutivo de los combustibles fósiles utilizando la flota actual y las cadenas actuales de suministro. Estos combustibles tienen características asimilables a las del combustible diésel, por lo que se conocen como **combustibles drop-in**. Los más comunes son los producidos a partir de **grasas y aceites**, siendo las dos grandes familias la de los ésteres (**Fatty Acids Methyls Estes o FAMEs**) y la de los aceites hidrotratados (**Hydrotreated Vegetable Oils o HVO**). En el caso de los **FAME** existen límites normativos que hacen que la forma más común en la que se consume en la actualidad sea en mezclas con combustibles fósiles, pero en el caso de los **HVO** son prácticamente asimilables a los combustibles tradicionales y se regulan bajo el mismo marco normativo.

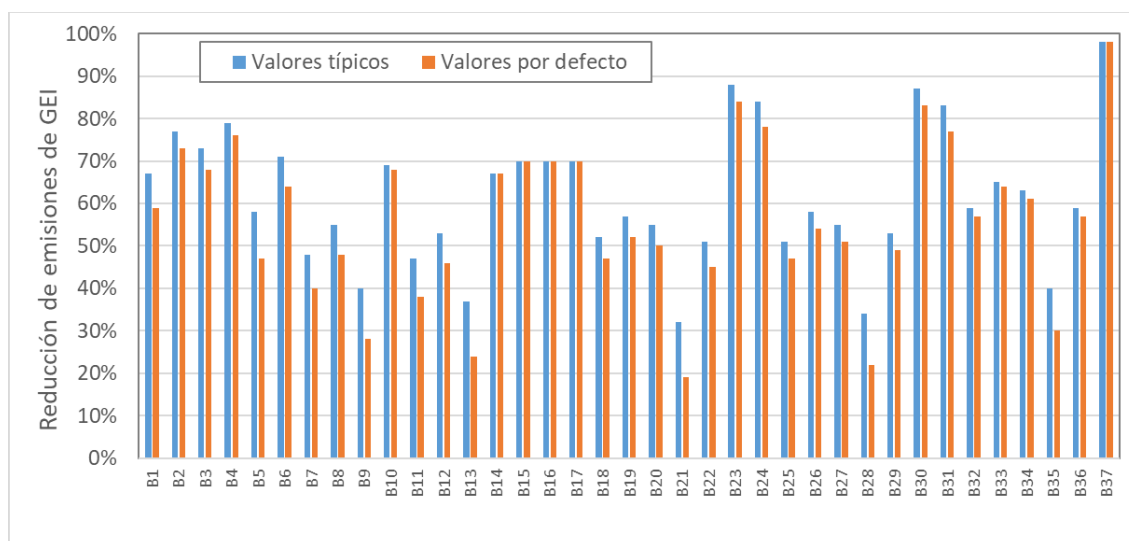
Hablando en términos generales, y exceptuando los óxidos de azufre, el resto de emisiones al usar biocombustibles tipo diésel medidas desde el tanque (Tank to Wheel en aplicaciones terrestres o Tank to Wake en marítimas) son semejantes a las obtenidas al

utilizar su equivalente de origen fósil. Por ejemplo, si se compara el comportamiento del mismo motor funcionando con un combustible marino destilado de origen fósil o con biodiesel FAME (éster metílico producido a partir de ácidos grasos) encontraremos solo variaciones modestas respecto a emisiones de CO<sub>2</sub>, material particulado (PM) y óxidos de nitrógeno (NOx), en parte consecuencia de las propiedades del combustible (p.e. un FAME es un compuesto que contiene oxígeno lo que permite que se produzca menos PM) y por otra parte motivados por el ajuste de los motores, que están optimizados para gasoleos pero no para biodiésel. Las ventajas son mayores al compararlo con los fuelóleos residuales, pero esas ya se podían encontrar con el uso de destilados.

La **gran ventaja** en emisiones al hablar de biocombustibles aparece cuando se ve la imagen completa, es decir cuando se comparan las emisiones incluyendo toda la cadena de producción y distribución, lo que se conoce con **emisiones Well to Wheel** (o Well to Wake). En el caso de biocombustibles, se considera que el CO<sub>2</sub> liberado en su combustión fue previamente atrapado durante la producción de la materia prima (p.e. el CO<sub>2</sub> lo absorbe una planta de girasol para generar las semillas de las que se extraerá el aceite), teniendo por lo tanto un balance nulo. Por lo tanto, la emisión de dióxido de carbono de un biocombustible es consecuencia de cómo se produce (naturaleza de la materia prima de origen, cómo se produce esta materia prima y tipo de procesamiento utilizado para obtener el combustible) y de cómo se transporta.

Teniendo en cuenta que, como hemos visto anteriormente, existe una gran variedad de combinaciones posibles, también lo serán sus factores de emisión. En la normativa, estos **factores de emisión de CO<sub>2</sub>** quedan recogidos en la Directiva (UE) 2018/2001 (DOUE, 2018) relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables para una cantidad considerable de combinaciones. En el anexo V se recopilan valores típicos de reducción de gases de efecto invernadero, así como valores a utilizar por defecto para 37 variedades de biocombustibles producidos en la actualidad, así como estimaciones de 14 posibles adicionales probados a escala piloto pero no comercial. Los datos han sido recientemente revisados en un trabajo del Joint Research Centre (Hurtig et al 2026) aunque aún no se han incorporado al marco normativo. La Ilustración 2 muestra los **valores propuestos para los biocombustibles** de los que se conocen valores reales, observándose valores por defecto de reducción entre el 19 % (FAME producido a partir de aceite de palma con estanque abierto para efluentes) y el 98% (aceite puro de cocina usado).

Ilustración 2| Reducción en emisiones de gases de efecto invernadero de los combustibles para los que ya existe producción comercial



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos recogidos en la directiva 2018/2001

Las mayores reducciones son las correspondientes a los provenientes de **sustancias residuales** (a partir de aceites usados o grasas animales fundidas) independientemente de su modo de procesamiento, siendo las mayores reducciones las conseguidas al utilizar el aceite sin tratar, seguidas por los aceites hidrotratados (HVOs de su denominación en inglés) y finalmente por los conseguidos mediante procesos de transesterificación (FAMEs). Tal y como se observa en la Ilustración 2, existen muchos ejemplos con valores por defecto por encima del 62 % por lo que, desde el punto de vista técnico, ahora mismo es posible cumplir con los requerimientos de Fuel EU Maritime para 2045 simplemente con un cambio de combustible. No obstante, desde el punto de vista operativo y económico existen algunas consideraciones que definirán el papel de los biocombustibles en el sector.

El tipo de procesado no solo tiene un impacto significativo sobre su potencial de reducción de gases de efecto invernadero, sino también sobre la **calidad del biocombustible**. Los aceites y grasas utilizados directamente como combustible presentan problemas como un menor poder calorífico, un número de cetano reducido, una excesiva viscosidad y son difíciles de almacenar largos periodos. Mediante el proceso de transesterificación para producir FAMEs se corrigen gran parte de esos problemas, aunque continúa siendo combustibles con un (relativamente) bajo poder calorífico por unidad de volumen y que puede presentar problemas en frío.

Además, las características del producto obtenido a partir de este tratamiento dependen mucho de la materia prima utilizada. El tipo de tratamiento también será un factor muy importante en el precio final de la sustancia, junto con el coste de la materia prima y los costes logísticos. Algunos de estos costes, tendrán una variabilidad tanto local como temporal, lo que imposibilita tener una imagen global de su potencial y obliga a estudiar

cada caso de negocio de forma individualizada y teniendo en cuenta todos los factores.

En general, los **precios de los biocombustibles** son más **elevados** que los de los combustibles tradicionales y su viabilidad económica depende fundamentalmente del **precio del petróleo** y/o la **tasación por emisión por dióxido de carbono**. La **excepción** más destacada a esta regla general es el **etanol producido a partir de caña de azúcar** en algunas regiones de Brasil, que puede ser competitivo sin subsidios ni tasación del carbono, lo que ha motivado desde muchos años atrás la popularización de su consumo en este país. En el resto de los casos su viabilidad va a depender en gran medida de que el precio del combustible incluya una tasa por el carbono emitido, tal y como se plantea en las normativas del paquete Fit for 55 (Fuel EU Maritime y EU ETS) o la Net Zero Framework de OMI. La tasa del carbono es además una forma de integrar el coste social del CO<sub>2</sub> en su precio de mercado, lo que además se alinea enteramente con la idea de ‘el que contamina, paga’.

Otro factor a tener en cuenta es la futura **disponibilidad del combustible**. Aunque existen combinaciones viables tanto desde el punto de vista técnico como económico, solo son de aplicación a pequeña escala, ya que vienen fundamentalmente **limitadas por la disponibilidad de materia prima**. Además, es necesario tener en cuenta el potencial conflicto que pueda surgir de que las materias primas utilizadas participen en otros mercados totalmente independiente al energético (como la alimentación o el cosmético) tanto por su impacto social, como sobre los efectos que esto pueda tener sobre su precio futuro.

Un ejemplo de caso de uso de potencia interés es el **uso de material residual**, como el aceite usado, que tiene mucho sentido para proyectos concretos locales, aunque no es realista un escenario en el que este tipo de sustituto se plantee de forma global. Una posible aplicación interesante se encontraría en los puertos, donde existen flotas cautivas (p.e. maquinaria de terminal o transporte terrestre) que facilitan la logística de suministro, o para la descarbonización de algunas líneas y servicios específicos. Un despliegue más generalizado queda limitado por la cantidad de aceites residuales que se generan y que se pueden recoger de un modo adecuado.

El mayor potencial de generación estaría en los biocombustibles avanzados a partir de **material lignocelulósico**, que se estima que serían capaces de cubrir la totalidad de combustible necesario del transporte marítimo y terrestre (Tabla 1). Existen varias vías para el aprovechamiento de esta materia prima, siendo especialmente interesantes la **producción de biometano** y los **combustibles pirolíticos**. En el caso de la segunda vía, existen tecnologías de producción maduras de combustibles drop-in con precios de producción competitivos, por lo que la clave en el corto plazo será el **desarrollo de cadenas de recogida y logísticas** de dicha materia prima.

Tabla 1 | Comparación del consumo de combustible en los sectores marítimo y aeronáutico con la producción actual y potencial de biocombustible basada en los cultivos actuales y las materias primas de la agricultura y la silvicultura existentes

Segmento	Consumo potencial anuales (Mtep)
Transporte marítimo	330
Transporte aéreo	220
Producción biodiesel 2016	26
Potencial de biodiesel	50-54
Producción biometanol 2016	55
Potencia de biocombustibles avanzados	455-805

Fuente: Elaboración propia a partir del trabajo de Hsieh y Felby , 2017

## Conclusiones

En el corto-medio plazo, los **biocombustibles** son una opción más para conseguir reducir las emisiones, tanto de gases de efecto invernadero como de contaminantes, en el transporte en general. Para ello, será necesario decidir entre diversas opciones en las que también aparecen las opciones eléctricas, el **bioGNL**, el **hidrógeno renovable** o el **amoniaco**. La **gran ventaja** de los biocombustibles frente a otras alternativas de bajas o nulas emisiones radica en su **densidad energética volumétrica** que, aunque suele ser inferior a la de los combustibles de origen fósil, es significativamente superior a otras alternativas como el amoniaco o el metanol. Esto hace que sean la alternativa más **interesante** para el **transporte aéreo** y una opción interesante en el corto plazo para el **transporte por carretera y el marítimo**, así como para el sector logístico. El papel que vaya a tener en cada uno de los sectores es incierto y, entre otros factores, dependerá de los movimientos que se realizan en el resto (p.e. una elevada demanda para el sector aéreo elevaría los sus precios, haciéndolo inviable para su uso en el marítimo), aunque no es muy arriesgado prever que su presencia continuará aumentando en el corto plazo.

## Referencias bibliográficas

CC Hsieh y C Felby (2017) Biofuels for the marine shipping sector. IEA Bioenergy report. 2017

Directiva (UE) 2018/2001 del parlamento europeo y del consejo de 11 de diciembre de 2018 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables. Diario Oficial de la Unión Europea. 2018

Hurtig, O., Bouter, A., Besseau, R., Buffi, M. and Scarlat, N., Updating GHG emission values of biofuels and biomass fuels in Annex V & VI of Directive (EU) 2018/2001, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2026

Øyvind Sekkesæter y Per Einar Henriksen (2025) BIOFUELS IN SHIPPING. Current market and guidance on use and reporting. DNV white paper

Pharos 39.0

Valenciaport Knowledge Hub

| [www.pharos390.com](http://www.pharos390.com)

| [info@pharos390.com](mailto:info@pharos390.com)