

# BIODIÉSEL: UNA ALTERNATIVA CADA VEZ MÁS REAL PARA SUSTITUIR COMBUSTIBLES FÓSILES

Claudia Martínez-Alonso, Evelyn B. Díaz Cruz, María del Pilar Rodríguez-Torres y Dulce K. Becerra-Paniagua

Claudia Martínez Alonso es Ingeniera Química por la Universidad Autónoma del Estado de Morelos; los estudios de maestría y doctorado en Ingeniería en Energía los realizó en el Instituto de Energías Renovables (IER-UNAM). Actualmente, es Profesora Investigadora en la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la Universidad Autónoma de Guerrero.

Evelyn Díaz Cruz es Doctora en Ingeniería en Energía del IER-UNAM, y Maestra en Ciencia e Ingeniería de los Materiales por el Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada de la UNAM. Actualmente, es Profesora Investigadora en la Universidad del Istmo, en el área de Ingeniería en Energías Renovables.

Pilar Rodríguez Torres es Ingeniera Física por la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP), maestra en ciencias aplicadas con especialidad en Fotónica del Instituto de Investigación en Comunicación Óptica (UASLP) y obtuvo su doctorado en el Centro de Investigaciones en Óptica en León, Guanajuato.

Dulce Becerra Paniagua es Ingeniera Química del Instituto Tecnológico Nacional Campus Tuxtla Gutiérrez maestra en Materiales y Sistemas Energéticos Renovables, de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas y doctora en Ingeniería en Energía por el IER-UNAM.

*Esta publicación fue revisada por el comité editorial de la Academia de Ciencias de Morelos*

## El cambio climático

El cambio climático es cada vez más evidente, por ello, día a día se suman diversos esfuerzos para tratar de reducir los factores que causan el efecto invernadero. Dentro de los más importantes están las emisiones producidas por los autos. En este tema, los biocombustibles han tomado gran importancia para sustituir a los combustibles fósiles, debido a que, con ello, se reduce considerablemente las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Uno de los biocombustibles de mayor importancia es el biodiésel, ya que fue uno de los primeros combustibles en obtenerse a partir de la biomasa, principalmente de semillas oleaginosas. Actualmente, existen cuatro generaciones de este biocombustible, logrando ya comercializar el de primera generación. En este trabajo, mostramos un panorama general de su uso en México y en el mundo, así como las ventajas que ofrece frente a la gasolina.

## Biocombustibles: ¿Qué son y para qué sirven?

La demanda mundial de combustibles derivados del petróleo, también llamados combustibles fósiles, se incrementa considerablemente con el paso del tiempo y en un futuro cercano puede llegar al agotamiento del recurso. El sector transporte es el mayor consumidor de combustibles fósiles, hasta en un 60%, con un incremento de 0.7% anual. Además, los combustibles fósiles enfrentan la problemática de las emisiones contaminantes al momento de su combustión, emitiendo monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), óxidos de nitrógeno (NOx) e hidrocarburos, contribuyendo considerablemente al calentamiento global. En este contexto surge la necesidad de obtener combustibles a partir de fuentes renovables que puedan sustituir a los combustibles fósiles.

Una alternativa viable para combatir este problema es el uso de biocombustibles. Los biocombustibles son aquellos combustibles que se obtienen de la biomasa, como se muestra en la Figura 1. Por su parte, la biomasa, es la fuente de energía renovable que se origina a partir de materia orgánica, como pueden ser los cultivos energéticos, los desechos agrícolas y forestales y sus subproductos (el estiércol o la biomasa microbiana). Dentro de los biocombustibles podemos clasificar al bioetanol, el biogás, el biodiésel, entre otros. El biodiésel es prometedor y po-

tencial sustituto del diésel convencional, ampliamente utilizado como combustible en motores diésel.

## ¿Qué es y cómo se obtiene el biodiésel?

Según la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM, por sus siglas en inglés), el biodiésel es un éster monoalquílico, producido a partir de lípidos y alcoholes de cadena corta. Estos lípidos son extraídos de diversas materias primas, como aceites vegetales, aceites de desecho, grasas animales, algas, etc. El biodiésel se clasifica en cuatro generaciones de acuerdo con la materia prima utilizada para su elaboración. La primera generación hace referencia a materias primas que derivan de los aceites comestibles, comprometiendo los cultivos oleaginosos para el consumo humano. La segunda generación clasifica los aceites no comestibles, los aceites residuales de fritura y la grasa animal. La tercera generación clasifica las algas oleaginosas como biomasa potencial en la producción de aceites. La cuarta generación utiliza técnicas de biología sintética como la ingeniería de células; por ejemplo, para sintetizar de manera directa biodiésel a partir de azúcares o dióxido de carbono utiliza como materia prima, microorganismos o microalgas. Las propiedades del biodiésel pueden variar según el aceite utilizado como materia prima. Además, los aceites vegetales tienen una mayor cantidad de oxígeno, que va del 10 al 45%, en comparación con los hidrocarburos derivados del petróleo, cuya cantidad de oxígeno es cercana a cero. La alta cantidad de oxígeno en los aceites vegetales permite una combustión completa y bajos niveles de monóxido de carbono, aunque tiene la desventaja de afectar la estabilidad térmica y la volatilidad.

El proceso de obtención de biodiésel consta de cuatro pasos, como se observa en la Figura 2. El primero es la obtención de la biomasa. El segundo es la extracción del aceite. Existen diversos métodos para este proceso, se destacan la extracción con fluido supercrítico, la extracción asistida por ultrasonido, prensado mecánico de tornillo y la extracción con solvente orgánico. El tercer paso es la refinación del aceite y el cuarto y último paso es el procesamiento, la esterificación con alcoholes de cadena corta, del aceite para obtener biodiésel.

Actualmente, el método de transesterificación es el más utilizado para la obtención de biodiésel. Este método consiste en hacer reaccionar triglicéridos que componen a los ácidos grasos utilizando alcoholes de cadena corta generalmente metanol, etanol o butanol, en presencia de un catalizador (homogéneo, hete-

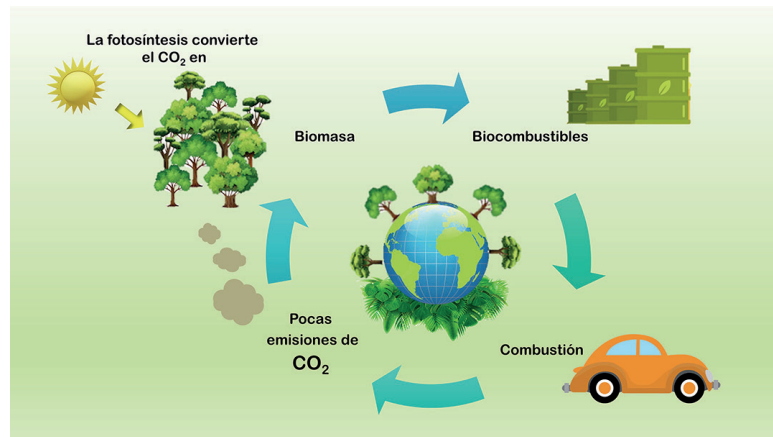


FIGURA 1. CICLO de las energías obtenidas mediante la biomasa (Fuente: hecho por las autoras, imágenes tomadas de <https://www.klipartz.com/>)

rogéneo o enzimático), para formar ésteres alquílicos de ácidos grasos (biodiésel) como el primer producto y glicerina como subproducto. La viscosidad de los aceites disminuye considerablemente con este método y se acerca a la viscosidad del diésel convencional, además de mantener o incrementar el poder calorífico y número de cetano. Este último, es un indicador de la calidad de la combustión del diésel y lo establece el motor, es más alto para el biodiésel que para el diésel convencional; por esta razón, el biodiésel tiene una mejor capacidad de combustión que el diésel convencional; cabe mencionar que el método de transesterificación es eficiente y económicamente rentable. Dependiendo del alcohol utilizado, el producto final pueden ser ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME, por sus siglas en inglés) o ésteres etílicos de ácidos grasos (FAEE, por sus siglas en inglés), cuando se usa metanol y etanol, respectivamente.

## Ventajas del uso de un motor diésel frente a uno de gasolina

Es común pensar en que los transportes que utilizan motor diésel son los camiones de carga, autobuses o camiones de trabajo pesado, ya que anteriormente, en la década de los ochenta y noventa, por ejemplo, se consideraba que un motor diésel proporcionaba fuerza e impulso a un vehículo. En este sentido un automóvil estándar no requiere fuerza sino más bien velocidad, y un motor de gasolina cumplía ese requisito. Además, el diésel era más costoso y tampoco era rentable usar un motor diésel para este tipo de vehículos. Sin embargo, con el avance de la tecnología, la industria automotriz fue mejorando con la finalidad de hacer más eficientes sus motores. Hoy en día, es común ver, además de motores de combustión interna, automóviles estándar con motores diésel.

Las principales diferencias entre estos dos motores son descritas a continuación: En los motores de combustión interna, el ciclo de explosión se produce por la inflamación de la mezcla de aire y combustible que se encuentra en el interior del cuerpo del cilindro. Pero ¿por

qué los motores de gasolina necesitan bujías y los de diésel no? Debido a que el diésel y la gasolina tienen una diferente temperatura de autoignición, es decir, temperatura a partir de la cual se inflaman. Es ahí donde difiere el funcionamiento de ambos motores. En la mecánica diésel, esta temperatura se consigue mediante compresión de aire. Durante el ciclo de admisión entra el aire a la cámara de explosión, el cual será comprimido en el siguiente ciclo, esa compresión genera un aumento de temperatura del aire hasta pasar por encima del valor de temperatura de autoignición. Es en este momento, cuando los inyectores introducen el combustible a presión de manera pulverizada, para una mejor mezcla con el aire y producir así, la combustión de este. En el caso de la gasolina sucede prácticamente lo contrario, ésta entra a la cámara junto con el aire (que en este caso se encuentra por debajo de la temperatura de autoignición), por tanto, el pistón empuja una mezcla de aire gasolina, la cual aumenta su presión, pero en ningún caso llega a alcanzar la temperatura de autoignición de la gasolina. Es aquí donde entra justamente la bujía, que genera la chispa encargada de prender las partículas de gasolina que están mezcladas con el aire.

## Los automóviles diésel, una alternativa para funcionar con biocombustibles.

Primero, es importante mencionar que el diésel y la gasolina utilizan un motor de combustión interna que realiza su ciclo completo en 4 fases, por lo que también se conoce como motor de 4 tiempos. Además, el diésel y la gasolina poseen un contenido energético similar de 45.57 y 45.50 MJ/Kg, respectivamente, por lo que esta propiedad no hace la diferencia en su rendimiento. La diferencia radica en la volatilidad de los combustibles que utiliza, es decir la facilidad con que se evaporan. Para el funcionamiento de un motor, esta propiedad se denota como temperatura de ignición, la gasolina tiene una temperatura de ignición de 280°C, mucho mayor que el diésel, con 210°C; por lo tanto, este parámetro hará una diferencia en uno de los tiempos del motor.

Un motor de 4 tiempos, como su nombre lo indica consta de cuatro etapas que son: 1) admisión, 2) compresión, 3) explosión o combustión (depende del combustible) y 4)

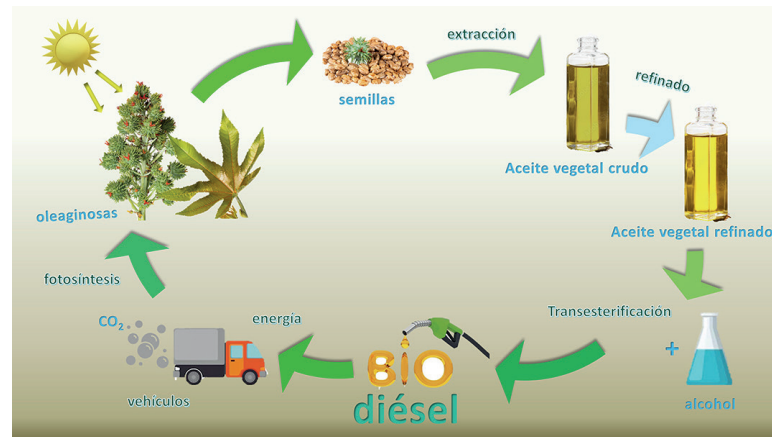


FIGURA 2. PROCESO de obtención del Biodiésel (Fuente: hecho por autoras, imágenes tomadas de <https://www.klipartz.com/>)

escape. En la etapa 1 el combustible ingresa en la cavidad (cilindro), posteriormente en la etapa 2 el pistón empuja al combustible ejerciendo una compresión, en la etapa 3 se realiza la combustión, sin embargo, algunos motores requieren una bujía que da una chispa para que se lleve a cabo una explosión, estos motores funcionan con el ciclo de Otto, y utilizan gasolina. Por otro lado, existe otro tipo de motor en donde el combustible no requiere chispa para hacer combustión, esto se debe a que el combustible tiene un bajo punto de ignición y es posible realizar la combustión cuando la presión es suficientemente alta, esto sucede con el diésel, y el motor funciona con el ciclo diésel. Finalmente, en la etapa 4 se da el escape de los productos obtenidos en la explosión o combustión de la etapa 3. En un motor de combustión interna (4 tiempos) es deseable una alta relación de compresión, sin embargo, en el motor de gasolina esta relación de compresión oscila entre 7:1 a 10:1, esto quiere decir, que la mezcla ha expandido su volumen de 7 a 10 veces, menor que en el motor diésel, debido al alto punto de ignición de la gasolina, entonces sí se eleva a presiones muy altas, es posible que se dé la autoignición, lo cual no es deseable. Por otro lado, debido al bajo punto de ignición del diésel es posible conseguir una buena relación de compresión con valores de entre 14:1 y 23:1, sin riesgo de la temida y no deseada autoignición. Por lo tanto, el rendimiento medio de un buen motor Otto de 4 tiempos es de un 25 a un 30%, inferior al rendimiento alcanzado con motores diésel, que llegan a rendimientos del 30 al 45%.

En la Figura 3 se observa el rendimiento de un automóvil de motor diésel frente a uno de gasolina, se observa la distancia que puede recorrer un auto con 20 litros de combustible. Un auto con motor diésel recorrería 1000 km, una distancia de la ciudad de Oaxaca a Guadalajara, mientras que un auto con motor de gasolina y la misma cantidad de combustible, recorrería únicamente 270.25 km, lo que significa viajar de la ciudad de Oaxaca a la ciudad de Puebla. En otras palabras, el rendimiento del diésel fue de un 70% (50 km/L) más alto, comparado con el de gasolina (13.5 km/L). De acuerdo con el Departamento de Energía de los Estados Unidos, los automóviles que funcionan con un

puro (100 % biodiésel) se denominan comúnmente B100 y las mezclas de biodiésel con diésel derivado del petróleo se denominan BXX, donde XX representa el porcentaje de biodiésel en la mezcla, por ejemplo, B30 contiene 30 % de biodiésel y 70 % de diésel convencional. Cuando se utiliza B100 el motor puede necesitar modificaciones, no es el caso cuando se usan mezclas de biodiésel con diésel convencional.

En cuanto a México, no existe una normatividad para la mezcla de biodiésel con otros combustibles fósiles, lo que impide producir un biodiésel con la calidad adecuada, como las normas internacionales ASTM D6751 o la ASTM D7467, que regulan la mezcla de biodiésel hasta en 20 % en países como Brasil y la Unión Europea. Asimismo, México no tiene metas de producción anual como Estados Unidos. La mayor producción de energía en México proviene de combustibles fósiles (75.49%), el consumo de energías renovables ronda el 5.7%, donde menos del 0.5% corresponde a biodiésel. Estados Unidos es el principal proveedor de México, pero dichas importaciones han venido disminuyendo durante el periodo de 2016 a 2020, esto explica la reducción de biodiésel en el país. Actualmente no existe un mercado para este producto energético ni para su uso como aditivo por parte de PEMEX. Además, se cerraron varias plantas comerciales de biodiésel. Por otra parte, a algunas empresas del sector privado se les hace más económico reciclar el aceite que utilizan en sus procesos productivos para obtener biodiésel que desecharlo, ya que en el país es considerado un desecho de manejo especial. Por ello, estas empresas utilizan el biodiésel generado para autoconsumo y como aditivo del combustible fósil utilizado en sus medios de transporte.

Existen dos formas de obtener biodiésel en el país, una es por aceites usados y la otra de aceites vegetales crudos. Sin embargo, la forma que ha predominado es la que opera con aceites usados, superando en algunos casos el precio del litro de diésel, que en 2021 fue de 1.02 USD/litro (aproximadamente 21 pesos mexicanos el litro). El 38% del biodiésel producido proviene de semillas como el piñón mexicano (*Jatropha curcas*) y el ricino (*Ricinus communis*). Desde el año 2006 a la fecha, la producción de oleaginosas y el rendimiento por hectárea ha variado considerablemente, pero un problema de este tipo de cultivos es su bajo rendimiento por hectárea, además que varía según la región, dificultando su máxima explotación.

En resumen  
Los avances en biocombustibles son cada vez más palpables, tal es el caso del biodiésel, el cual se ha mejorado desde sus inicios. Actualmente, existen 4 generaciones de obtención de aceites para la producción de este biocombustible, en donde la primera es la única que se comercializa. Por otro lado, la tecnología automotriz



FIGURA 3. COMPARACIÓN del rendimiento del diésel frente a la gasolina en automóviles.

ha caminado en conjunto con los biocombustibles, hoy en día es mucho más común encontrar automóviles pequeños con motor diésel, debido al alto rendimiento de este combustible, un 70% más que un auto de gasolina, además la gasolina aún no es obtenida de biomasa. Por otro lado, aunque actualmente no es común encontrar autos con uso de biodiésel en 100% si lo hay para mezclas de diésel obtenido del petróleo con biodiésel en determinados porcentajes. Mundialmente el biodiésel es comercializado, aunque en México aún no se ha logrado un crecimiento industrial importante en este sector. Uno de los principales desafíos para producir biodiésel en México está relacionado con los costos de insumos y transporte, obstaculizando localmente su producción y consumo; además de la determinación de un marco regulatorio que impulsen su uso.

## Lecturas recomendadas

Arpia, A. A., Chen, W.-H., Lam, S. S., Rousset, P., & de Luna, M. D. G. (2021). Sustainable biofuel and bioenergy production from biomass waste residues using microwave-assisted heating: A comprehensive review. *Chemical Engineering Journal*, 403, 126233. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.126233>

Boretta, A. (2020). Advances in Diesel-LNG Internal Combustion Engines. *Applied Sciences*, 10 (4), 1296. <https://doi.org/10.3390/app10041296>

Ellappan, S., & Rajendran, S. (2021). A comparative review of performance and emission characteristics of diesel engine using eucalyptus-biodiesel blend. *Fuel*, 284, 118925. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118925>

Efficiency studies. *Machines*, 10 (26), 1-13. <https://doi.org/10.3390/machines10010026>

IEA. (2020a). *Renewables 2020 - Analysis and forecast to 2025*. <https://www.iea.org/reports/renewables-2020>

Laurén, M., Goswami, G., Tupitsina, A., Jaiswal, S., Lindh, T., Sopenan, J. (2021). General Purpose and Scalable Internal Combustion Engine Model for Energy LMC International. (2021). *Global Agribusiness Market Intelligence & Consulting*. <https://www.lmc.co.uk/>

Manojkumar, N., Muthukumar, C., & Sharmila, G. (2020). A comprehensive review on the application of response surface methodology for optimization of biodiesel production using different

oil sources. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, S1018363920303123. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2020.09.012>

Mexican Bioenergy Network (MBN). (2016). *ECOFYS Diagnosis of the current situation of biodiesel in Mexico and scenarios for its use* MBN-ECOFYS.

Mikalsen, R., & Roskilly, A.P. (2007). A review of free-piston engine history and applications. *Applied Thermal Engineering*, 27 (14-15), 2339-2352. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2007.03.015>

Prezi. (07 de julio de 2022). *Ciclo de Otto*. <https://prezi.com/sx-jwpuahzhqe/ciclo-de-otto/>

Raheem, I., Mohiddin, M. N. B., Tan, Y. H., Kamsed, J., Mubarak, N. M., Abdullah, M. O., & Ibrahim, M. L. (2020). A review on influence of reactor technologies and kinetic studies for biodiesel application. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 91, 54-68. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2020.08.024>

Refinadora costarricense de petróleo (Recopce). (07 de julio de 2022). *Poder calorífico* <https://www.recopce.go.cr/productos/calidad-y-seguridad-de-productos/poder-calorifico/>

REN 21. (2021). *Renewables 2021 Global Status Report*.

SENER. *Manual Estadístico 2020*. SENER; 2020. Disponible en línea en: <https://www.gob.mx/sener/articulos/prontuario-estadistico-2020?state=published>

Singh, R., Arora, A., & Singh, V. (2021). Biodiesel from oil produced in vegetative tissues of biomass - A review. *Bioresource Technology*, 326, 124772. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.124772>

Zhao, C., Zhang, Y., & Li, Y. (2019). Production of fuels and chemicals from renewable resources using engineered *Escherichia coli*. *Biotechnology Advances*, 37(7), 107402. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2019.06.001>

*Esta columna se prepara y edita semana con semana, en conjunto con investigadores morelenses convencidos del valor del conocimiento científico para el desarrollo social y económico de Morelos. Desde la Academia de Ciencias de Morelos externamos nuestra preocupación por el vacío que genera la extinción de la Secretaría de Innovación, Ciencia y Tecnología dentro del ecosistema de innovación estatal que se debilita sin la participación del Gobierno del Estado.*

## ESTA PUBLICACIÓN FUE REVISADA POR EL COMITÉ EDITORIAL DE LA ACADEMIA DE CIENCIAS DE MORELOS

Para actividades recientes de la academia y artículos anteriores puede consultar: [www.acmor.org.mx](http://www.acmor.org.mx)  
¿Comentarios y sugerencias?, ¿Preguntas sobre temas científicos? [CONTACTANOS: editorial@acmor.org.mx](mailto:editorial@acmor.org.mx)

