

Bioetanol, biodiésel y biogás: definiciones, obtención y aplicaciones

El cambio climático, la seguridad energética y la disminución de combustibles fósiles ha propiciado el desarrollo de biocombustibles como los derivados de la biomasa por ser recursos renovables. Éstos pueden ser líquidos (bioetanol y biodiésel) y gaseosos (biometano y biohidrógeno), los cuales son usados en el transporte, producción de energía eléctrica y como materia prima.

Introducción

El uso excesivo de combustibles fósiles como el carbón, el gas natural y el petróleo para satisfacer las demandas energéticas de la sociedad ha traído consigo una emergencia climática a nivel mundial. A pesar de que se han firmado acuerdos internacionales, como el de París en 2015, con el fin de disminuir las emisiones de dióxido de carbono (CO_2), los niveles de este gas –considerado como parte de los gases de efecto invernadero (GEI)– en la atmósfera no se han disminuido al ritmo deseado. La preocupación por los altos porcentajes de GEI radica en el efecto que tienen estos gases en la temperatura promedio de la Tierra y los efectos que el calentamiento global trae consigo.

El crecimiento de la población mundial y el estilo de vida de los países desarrollados han planteado desafíos a la sociedad actual: satisfacer la creciente demanda de energía y la reducción de GEI, así como incrementar la eficiencia energética. Una de las alternativas para hacer frente a estos desafíos es acrecentar el uso de energías renovables, las cuales pueden garantizar la seguridad energética, coadyuvar en la protección del medio ambiente y generar empleos. Diversos países desarrollados consideran a las energías renovables como el punto estratégico de una nueva generación de tecnología para alcanzar un desarrollo sustentable y sostenible.

La tendencia energética global es realizar una transición del sistema energético basado en fuentes fósiles a un sistema energético bajo en carbono y, finalmente, entrar en la era de la energía sostenible basada sobre todo en energías renovables. Una alternativa para dicha transición es el uso de la biomasa para la producción de biocombustibles (biodiésel, bioetanol y biogás).



■ **Energías renovables**

■ La transición energética necesaria para detener el cambio climático deberá basarse en el uso de energías renovables a escala global. La energía renovable es aquella que proviene de fuentes o procesos naturales que se renuevan constantemente. Ejemplo de estas energías son la energía solar y la energía del viento. Estos recursos renovables son “prácticamente inagotables”, pero no son constantes.

Las energías renovables a menudo son llamadas “energías limpias” o “energías verdes”, pero también tienen un impacto en el ambiente, aunque mucho menor que los combustibles fósiles. Las principales fuentes de energías renovables son: *a)* la energía solar, *b)* la energía hidroeléctrica, *c)* la energía eólica, *d)* la energía geotérmica, *e)* las energías del mar y *f)* la energía de la biomasa.

■ **Biomasa**

■ La biomasa “es una fracción biodegradable de los productos, desechos y residuos de origen biológico procedentes de actividades agrarias (incluidas las sustancias de origen vegetal y animal), de la silvicultu-

tura y de las industrias conexas, incluidas la pesca y la acuicultura, así como la fracción biológica degradable de los residuos industriales y municipales” (De Lucas y cols., 2012).

El éxito del uso de la energía basada en biomasa depende en gran medida de la disponibilidad de tierra cultivable. Se estima que para 2035 alrededor del 5% de la tierra agrícola mundial será utilizada para cultivos dedicados a la producción de biocombustibles.

Los beneficios ambientales de utilizar la biomasa son múltiples, como la reducción del uso de combustibles fósiles, debido a que disminuye la cantidad de emisiones de carbono, mientras que se ralentiza el cambio climático, además de que la biomasa captura el dióxido de carbono de la atmósfera. Por otro lado, la biomasa es un agente limpiador de bajo costo cuando se aplica como bioacumulador o absorbente de diferentes contaminantes en el suelo, el agua y el aire.

■ **Biocombustibles**

■ El término “biocombustible” hace referencia a combustibles líquidos, sólidos y gases producidos



a partir de la conversión de la biomasa; por ejemplo, bioetanol producido a partir de caña de azúcar o maíz, y biogás generado por la descomposición anaerobia de desechos. Con base en la materia prima utilizada para su producción, los biocombustibles se clasifican en biocombustibles de primera, segunda y tercera generación.

Los biocombustibles de primera generación son los más usados y se producen a partir de aceites comestibles como los de la colza, la soja, el girasol, el cártamo, la palma y el coco. Los biocombustibles de segunda generación son aquellos que se producen a partir de una variedad de materias primas diferentes, que van desde residuos agrícolas hasta desechos sólidos municipales. La mayoría de estos combustibles se encuentran en diversas etapas de experimentación y desarrollo. Los biocombustibles de tercera generación son los elaborados principalmente a partir de algas.

Bioetanol

En la producción de bioetanol se utilizan varios tipos de biomasa, los cuales se engloban en tres principales materias primas: *a)* el azúcar, *b)* el almidón y *c)* la biomasa lignocelulósica.

La biomasa celulósica, utilizada para la producción de bioetanol, se refiere a desperdicios de cultivo agrícola: hojas, desechos de madera y residuos de bosques, y desperdicios del procesamiento de pulpa/papel y cultivos energéticos. Algunos ejemplos de desperdicios agrícolas son la paja del trigo y el arroz, las hojas de maíz, los tallos y mazorcas, así como el bagazo de la caña de azúcar.

El contenido celulósico del maíz y la caña de azúcar oscila entre el 30 y el 70%, y los principales productores de bioetanol en el mundo son Estados Unidos y Brasil. Su producción aún no ha comenzado a escala comercial, porque se requiere de una investigación intensa; además se necesitan grandes extensiones de tierra cultivable y un suministro de agua dulce para el riego.

Producción de bioetanol

Las rutas de conversión para la producción de bioetanol varían según la materia prima utilizada. En la

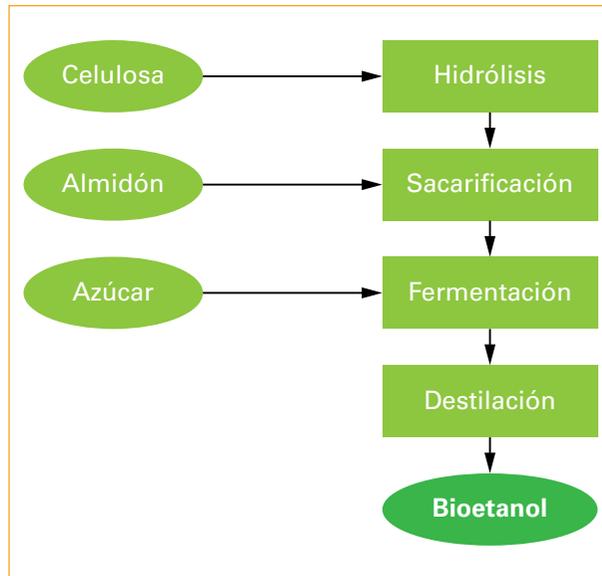


Figura 1. Diagrama del proceso de la producción de bioetanol.

Figura 1 se muestra un proceso simplificado para la producción de bioetanol a partir de celulosa, almidón y azúcar.

El proceso de producción de etanol a partir de biomasa celulósica es el más complejo en comparación con los otros dos métodos, debido a que la celulosa no es fácil de procesar.

Biodiésel

Las materias primas que se utilizan para la producción de biodiésel son los aceites vegetales (como el aceite de soja) y las grasas de origen animal (como el sebo de res y los aceites reciclados provenientes de restaurantes). Su demanda se ha incrementado en las últimas décadas, por lo que se han desarrollado nuevos tipos de biomasa, tales como algas, camelina y jatropha (materias primas que mejoran el rendimiento). Además, se han implementado sistemas de “trampa de grasa” para recolectar grasas previamente a que ingresen a los sistemas de aguas residuales, con el fin de utilizarlas como materia prima.

Producción de biodiésel

La producción de biodiésel se lleva a cabo mediante tres principales métodos: craqueo térmico, microemulsión y transesterificación, y este último ha mostrado ser el método más adecuado (Figura 2).

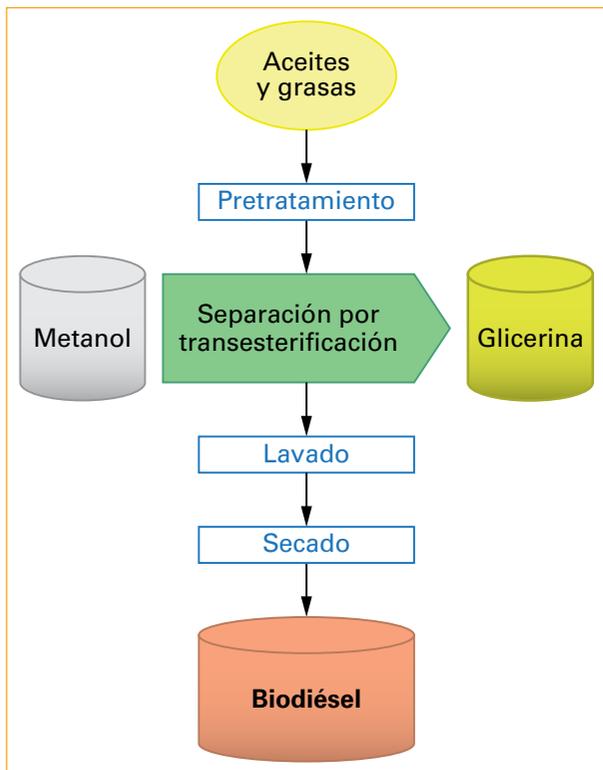


Figura 2. Proceso de producción de biodiésel mediante transesterificación.

La transesterificación (también llamada alcoholisis) consiste en una reacción química en la cual los triglicéridos presentes en las grasas o aceites reaccionan con alcoholes (generalmente metanol o etanol) para producir biodiésel y otros compuestos químicos que pueden ser usados en procesos industriales.

Las semillas son otra materia prima utilizada para la producción de biodiésel, y mundialmente se han

identificado más de 350 semillas que pueden utilizarse como materia prima, así como una gran variedad de hongos y microalgas. Entre los principales aceites comestibles para la producción de este combustible se encuentra el aceite de girasol, el aceite de palma, el aceite de colza y el aceite de soja. Por otro lado, también pueden usarse aceites no comestibles como el aceite de pongamia, el de mahua y el de jatropha.

Biogás

El biogás es un combustible producido a partir de biomasa y puede ser de tres tipos: biometano (CH_4), biohidrógeno (H_2) y biohitano (mezcla de CH_4 y H_2).

La conversión de la biomasa en biogás se lleva a cabo a través de procesos biológicos mediante la acción de microorganismos y tiene lugar en ausencia de oxígeno (digestión anaerobia), en ocasiones llamada biometanización. En este proceso la biomasa es degradada en compuestos más simples para producir biogás y compuestos líquidos (digestatos) usados en la producción de fertilizantes de alta calidad. Su producción se ha incrementado en países en desarrollo donde la gestión de estos desechos se ha convertido en un problema.

Producción de biogás

Para la producción de biogás se puede usar una gran variedad de residuos; entre ellos, residuos de cultivos agrícolas, residuos municipales, residuos sólidos urbanos orgánicos, lodos provenientes de plantas tratadoras de agua, excrementos de animales y residuos de

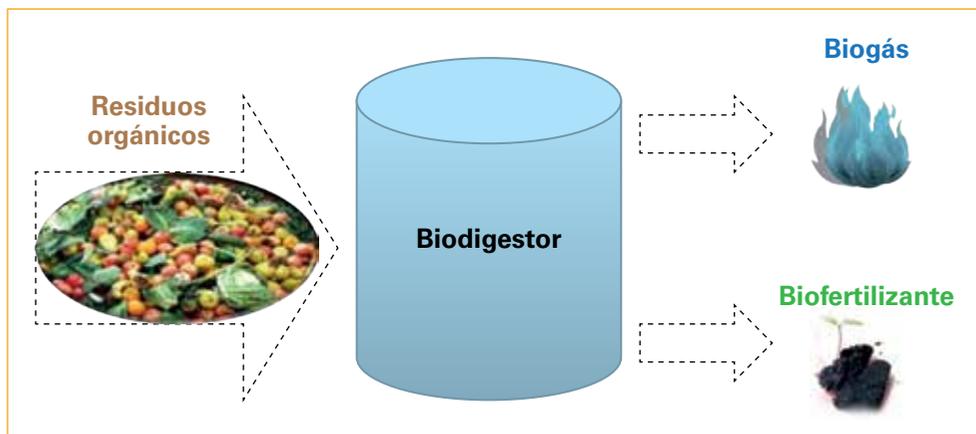


Figura 3. Proceso de producción de biogás.

la industria alimentaria (Figura 3). El proceso anaeróbico es llevado a cabo por microorganismos para producir diferentes gases: metano (del 40-65%), dióxido de carbono (35-55%), sulfuro de hidrógeno (0.1-3%) y agua. Los porcentajes de cada uno de estos gases dependen de la composición de la biomasa usada, el pretratamiento de la materia prima, los microorganismos o enzimas utilizados, las condiciones de operación y el diseño del **biodigestor**.

Todos estos factores y la gran diversidad de biomasa que se puede utilizar originan una gran variedad de diseños de los biodigestores que son utilizados para su procesamiento; sin embargo, existe un proceso que no varía: la digestión anaerobia. Este proceso se compone de tres etapas:

- Acidogénesis: las bacterias descomponen moléculas de glucosa, ácidos grasos y aminoácidos en ácidos grasos volátiles y alcoholes.
- Acetogénesis: los ácidos grasos volátiles y los alcoholes se convierten en hidrógeno, dióxido de carbono (CO_2) y amoníaco.
- Metanogénesis: las arqueas (microorganismos unicelulares) convierten el hidrógeno y el ácido acético en metano y CO_2 .

En la actualidad, Europa lidera la producción mundial de biogás, debido a las políticas de apoyo a las energías renovables de la Unión Europea. La Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA, por sus siglas en inglés) estima que en el año 2020 se produjeron 91 000 GWh de electricidad mediante biogás en el mundo, mientras que en México la cifra alcanzó 259 GWh en 2019.

■ Usos de los biocombustibles

■ Usos del bioetanol

■ El bioetanol puede usarse para la producción de bebidas alcohólicas, pero su principal uso es como combustible de motores de combustión interna. Este biocombustible puede mezclarse con gasolina en diferentes porcentajes; se estima que se pueden usar mezclas con 10% de bioetanol en cualquier motor a gasolina. Además, el CO_2 generado durante la combustión del bioetanol se equilibra con el CO_2 “capturado” durante el cultivo de la biomasa usada en su producción, lo que coadyuva a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (hasta 12%). El bioetanol también puede usarse como re-

◀ Biodigestor

Recipiente o tanque cerrado herméticamente cargado con residuos orgánicos, los cuales se descomponen en su interior para generar biogás.





activo sostenible para la producción de biodiésel en sustitución del metanol, puesto que es menos tóxico y se produce a partir de recursos renovables, lo que hace más sostenible la producción de este biocombustible y proporciona mayor independencia energética. Aunque en menor proporción, el bioetanol también se usa como materia prima en la industria química para la producción de detergentes y geles desinfectantes, así como para la producción de pinturas, tintas y resinas, entre otros.

Usos del biodiésel

El biodiésel se mezcla en diferentes porcentajes (2, 5 y 20%) con diésel producido a base de petróleo para ser utilizado como combustible en motores de combustión interna, principalmente en la industria del transporte y para la producción de electricidad. De manera similar al bioetanol, el CO₂ liberado durante la combustión del biodiésel se compensa por el CO₂ adsorbido al cultivar la materia prima con que fue producido (soja, camelina, jatropha, etc.). El

uso de este biocombustible tiene diversas ventajas, como la de prolongar la vida útil del motor, mejorar la combustión debido a que tiene un mayor índice de cetano y se producen menos gases de efecto invernadero durante su combustión (hasta 41 % menos).

Usos del biogás

El biogás puede usarse como combustible para calderas, para motores de combustión interna para la producción de electricidad, como combustible en plantas de cogeneración (producción de calor y electricidad) y trigeneración (producción de calor, electricidad y refrigeración), y como combustible para vehículos a gas (biometano). Asimismo, se utiliza como sustituto de gas natural en procesos industriales, comerciales y domésticos.

■ ■ ■ Conclusiones

■ La energía es esencial para el desarrollo humano y el crecimiento económico. La demanda energéti-

ca ha registrado un incremento exponencial en las últimas décadas, debido al rápido crecimiento de la población mundial, al incremento de la calidad de vida (principalmente de países desarrollados) y al desarrollo tecnológico alcanzado en los últimos 50 años. Para satisfacer esta demanda de energía, el ser humano ha usado de manera excesiva combustibles fósiles como el gas natural, el petróleo y el carbón, lo cual ha traído consigo crisis energéticas, desequilibrio en los ecosistemas y un cambio climático global.

La producción de energía sostenible es un tema que ha cobrado gran relevancia por el calentamiento global registrado en los últimos años, que se ha convertido en un tema prioritario debido al cambio climático cada vez más evidente. Por lo anterior, las energías renovables tienen un papel determinante en la descarbonización del sector energético, pues son producto de recursos naturales y renovables. Entre las fuentes de energías renovables está la biomasa, a partir de la cual se pueden producir biocombustibles como el biodiésel, el bioetanol y el biogás (metano e hidrógeno). Estos combustibles representan una alternativa para disminuir el uso de combustibles fósiles y con ello reducir la concentración de gases de efecto invernadero y otros contaminantes.

Martín Quintero-Mayo

División de Ingeniería Industrial e Ingeniería en Energía, Universidad Politécnica del Valle de Toluca.

martin.quintero@upvt.edu.mx

Angélica Motejo-Pérez

División de Ingeniería Industrial e Ingeniería en Energía, Universidad Politécnica del Valle de Toluca.

angelicaperez@upvt.edu.mx

Juan García-Contreras

División de Ingeniería Industrial e Ingeniería en Energía, Universidad Politécnica del Valle de Toluca.

juangarcia@upvt.edu.mx

Lecturas recomendadas

De Lucas, A., C. del Peso, E. Rodríguez y P. Prieto (2012), *Biomasa, biocombustibles y sostenibilidad*, España, Instituto Tecnológico Agrario y Agroalimentario. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/260383181_Biomasa_biocombustibles_y_sostenibilidad, consultado el 13 de mayo de 2025.

González-Sánchez, M. E., S. Pérez-Fabiel, A. Wong-Villarreal, R. Bello-Mendoza y G. Yáñez-Ocampo (2015), "Residuos agroindustriales con potencial para la producción de metano mediante la digestión anaerobia", *Revista Argentina de Microbiología*, 47(3):229-235. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ram.2015.05.003>, consultado el 3 de mayo de 2025.

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2024), "Biodigestores: innovación sostenible para la agricultura y ganadería". Disponible en: <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/biodigestores-innovacion-sostenible-para-la-agricultura-y-ganaderia?idiom=es>, consultado el 13 de mayo de 2025.

Sosa-Rodríguez, F. S. y J. Vázquez-Arenas (2021), "The biodiesel market in Mexico: challenges and perspectives to overcome in Latin-American countries", *Energy Conversion and Management*: X, 12:100149. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2021.100149>, consultado el 3 de mayo de 2025.

Zamora-Hernández, T., A. Prado-Fuentes, J. Capataz-Tafur, B. E. Barrera-Figueroa y J. M. Peña-Castro (2014), "Demostraciones prácticas de los retos y oportunidades de la producción de bioetanol de primera y segunda generación a partir de cultivos tropicales", *Educación Química* [en línea], 25(2): 122-127. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(14\)70534-8](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(14)70534-8), consultado el 3 de mayo de 2025.