

Inés María Ríos Badrán, José Santos Cruz y Claudia Gutiérrez Antonio



Biocombustibles sólidos: una solución al calentamiento global

En México se producen grandes cantidades de biomasa residual que constituyen un serio problema de contaminación. No obstante, dicha biomasa residual puede aprovecharse para producir biocombustibles sólidos, los cuales permiten producir energía eléctrica y calorífica. Esto contribuye a la diversificación de la matriz energética, así como a la reducción de las emisiones de CO₂.

Durante décadas, el uso de combustibles fósiles ha generado diferentes tipos de gases que provocan que la energía de la luz solar entre a la Tierra pero no salga de la atmósfera, lo que se conoce como efecto invernadero. Esto provoca alteraciones en el clima, así como el incremento de la temperatura terrestre.

En el año 2014, la acumulación de los gases de efecto invernadero en la atmósfera alcanzó un récord: 143% más con respecto a la era preindustrial, y llegó casi a las 400 partes por millón (ppm). Dicha acumulación igualmente tiene un impacto directo en el incremento de la temperatura terrestre. De acuerdo con la Organización Meteorológica Británica, la temperatura de la Tierra había incrementado 0.13 °C por década hasta 1979; luego de ese año y hasta la fecha, el incremento ha sido mayor: 0.25 °C por década (casi el doble). Esto se relaciona con la problemática del calentamiento global.

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, ante esta situación el ser humano ha utilizado su ingenio para



crear alternativas que permitan mitigar las consecuencias del problema. Entre las más relevantes está el uso de los biocombustibles para disminuir las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) generadas en sectores como el transporte y la producción de energía eléctrica y calorífica.

■ **Los biocombustibles como alternativa**

■ Los biocombustibles son aquellos carburantes que se obtienen a partir del procesamiento de la biomasa. El término *biomasa* abarca todo tipo de materia orgánica que se encuentra disponible en una base renovable o recurrente, como las plantas o incluso sus desechos metabólicos (Garrido, 2009). Es importante mencionar que el uso de los biocombustibles permite reducir las emisiones de gases efecto invernadero, siempre y cuando los procesos de producción sean sustentables; esto es, que tengan una mínima huella de carbono (se entiende como *huella de carbono* a la totalidad de los gases de efecto invernadero emitidos por efecto directo o indirecto de un producto).

Las investigaciones sobre los biocombustibles se han enfocado principalmente en aquéllos para el sector transporte, aunque también pueden ser utilizados para la generación de energía eléctrica y térmica, en uso tanto residencial como industrial. Existen diversos procesos de obtención, dentro de los cuales hay diferentes técnicas que permiten producir distintos tipos de biocombustibles: líquidos, sólidos y gaseosos, cada uno con diferentes aplicaciones (véase la Tabla 1).

Los biocombustibles han tenido una constante evolución, fundamentada principalmente en el tipo de materia prima que se utiliza para su producción, de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Actualmente se tienen cuatro generaciones de biocombustibles, las cuales se describen a continuación.

Los biocombustibles de primera generación son aquellos provenientes de la biomasa, especialmente de cultivos agrícolas, destinada a la alimentación humana. Por otra parte, los biocombustibles de segunda generación son producidos a partir de materias primas que no son fuentes alimenticias, o bien son desechos agroindustriales. Los **biocombustibles de tercera generación** proceden de la biomasa obtenida de especies no comestibles, tales como las microalgas. Finalmente, los biocombustibles de cuarta generación se producen a partir de bacterias genéticamente modificadas; en este caso se emplea CO₂ o alguna otra fuente de carbono para la obtención del producto (Salinas y Gasca, 2009). En la actualidad, las tecnologías de producción de los biocombustibles de primera generación son más simples y económicas; mientras que las de las otras generaciones aún se encuentran en etapas de investigación y desarrollo, y con costos de producción muy elevados.

En México, los biocombustibles son considerados una gran oportunidad de desarrollo sostenible, por lo que el gobierno ha impulsado principalmente la producción de biocombustibles líquidos como el etanol y el biodiesel. Sin embargo, según indica la Iniciativa

Tabla 1. Procesos de obtención de biocombustibles (Salinas y Gasca, 2009).

Proceso	Técnicas	Biocombustibles			Aplicaciones
		Sólidos	Líquidos	Gaseosos	
Mecánicos	Astillado	Leñas, astillas, briquetas, pellets, aserrín			Calefacción, electricidad.
	Trituración				
	Compactación				
Termoquímicos	Pirólisis	Carbón	Aceites	Gasógenos	Calefacción, electricidad, transporte, industria química.
	Gasificación				
Biotecnológicos	Fermentación			Etanol, biogás	Transporte, industria química, calefacción, electricidad
	Digestión				
	Respiración anaeróbica				
Extractivos	Extracción		Aceites, éteres, hidrocarburos		Transporte, industria química
	Fisicoquímicas				

para el Desarrollo Ambiental y Sostenible, la diversidad de biocombustibles incluye también los sólidos y los gaseosos, todos éstos obtenidos de la biomasa extraída de los desechos agroindustriales (biocombustibles de segunda generación). Además, recientemente, el gobierno mexicano ha impulsado la creación del Centro Mexicano de Innovación en Bioenergía (CEMIE-BIO), el cual está integrado por cinco clústeres; cada uno de ellos se enfoca en un área muy especializada en materia de biocombustibles, lo cual permite enlazar a la ciencia y la tecnología con el desarrollo sustentable de las comunidades (Wilches, 2011). De manera específica se espera que en el corto plazo los biocombustibles sólidos en México –como la leña, el carbón vegetal, los pellets, entre otros– serán empleados a gran escala mediante tecnologías modernas y más eficientes (Wilches, 2011).

■ **Biocombustibles sólidos para la producción de energía**

■ Los biocombustibles sólidos son carburantes compuestos por materia orgánica, de origen vegetal o animal, susceptibles de utilizarse en aplicaciones energéticas; éstos son obtenidos mediante procesos físicos, tales como compactación, astillado o trituración. De manera particular, para la producción de energía térmica y eléctrica se emplean biocombustibles sólidos generados a partir de la biomasa residual de actividades forestales o agroindustriales.

La importancia de los biocombustibles sólidos radica en su elevado potencial para atender los requerimientos energéticos asociados al crecimiento poblacional. El uso de los biocombustibles sólidos permitirá remplazar a los combustibles fósiles en la producción de energía eléctrica y calorífica; asimismo, disminuirá los problemas causados por los combustibles convencionales; además, dará fin al problema de los residuos agroindustriales, al utilizarlos como materia prima para la producción de biocombustibles sólidos, de acuerdo con la Red Mexicana de Bioenergía.

Asimismo, según el Consejo para la Defensa de los Recursos Naturales, los biocombustibles sólidos representan una posible solución al calentamiento



global. El incremento del CO₂ en la atmósfera es derivado de la quema de combustibles fósiles y otras actividades humanas. La cuestión está en que dicho gas es liberado después de que por muchos años no había estado presente en el ciclo natural del carbono. A pesar de que los biocombustibles también generan CO₂, éste sí pertenece al ciclo corto del carbono (ya que las plantas lo aprovechan durante la fotosíntesis), por lo que no se excede la concentración de este gas en la atmósfera. Por lo tanto, no se provocan los efectos relacionados con el cambio climático.

■ **Biomasa susceptible para la producción de biocombustibles sólidos**

■ Con el término *biomasa* se denomina al grupo de materias primas de tipo renovable que se origina por vía biológica. Este tipo de material se obtiene de los restos de aprovechamientos forestales, de las industrias de la primera y segunda transformación de la madera, de los productos agrícolas y forestales, de los residuos de explotaciones ganaderas, de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, de los cultivos implantados y explotados con el único objeto de su obtención –denominados *cultivos energéticos*– y, en general, de cualquier producto de origen orgánico susceptible de aprovechamiento energético.

El Consejo Mundial de Energía reportó que en el año 2016 la producción de biomasa a nivel global

fue de 65 exajoules (EJ) aproximadamente, o 18 millones de gigawatts/hora; esto equivale a 14% del consumo de energía primaria. La energía primaria es la que se obtiene directamente de la naturaleza, por ejemplo, la energía solar, eólica, hidráulica, geotérmica, el petróleo, gas natural, carbón y la biomasa. Un estimado de la producción de biomasa para el año 2050 es de 30 veces la producción del 2013, equivalente a 1 500 EJ anuales (Razo y cols., 2007). Sin embargo, se estima que el porcentaje de producción será menor, de alrededor de 200 a 500 EJ; esto debido a factores de cuidado del ambiente, disponibilidad del agua, entre otros. Por lo tanto, se estima que la biomasa podría contribuir con 25 a 50% de la mezcla futura de energía, considerando el último estimado de producción de energía mediante su utilización, y que el consumo de energía primaria en el año 2050 estará entre 600 y 1 000 EJ. En un país como México, la producción de biomasa aporta 4.22% del total de la energía primaria (Guo y cols., 2014).

Hoy en día se pueden identificar distintos tipos de biomasa que sirven para producir biocombustibles (véase la Figura 1). Las materias primas más usadas para obtener biocombustibles sólidos son las constituidas por materiales lignocelulósicos, que proceden del sector agrícola o forestal; además, la industria de la transformación genera este tipo de residuos. Después de la disposición de los diferentes productos primarios agrícolas o de su industrialización, quedan residuos agroindustriales en estado sólido o líquido. Estos subproductos, aunque se consideran residuos,

pueden transformarse en productos con un valor agregado de gran interés tanto comercial como social (Saval, 2012).

Los residuos agroindustriales pueden ser aprovechados de diferentes formas, tales como para la producción de compostaje o para la elaboración de biocombustibles; no obstante, una de las desventajas que tiene su uso como combustible es su baja densidad física y energética. Por eso, el proceso de *densificación* tiene una gran importancia en el aprovechamiento de estos residuos.

La producción anual de residuos agroindustriales a nivel mundial es de gran envergadura: 3 045 millones de toneladas (Garcés y cols., 2014). En México se generan anualmente cerca de 76 millones de toneladas de residuos agroindustriales de frutas (limón, peras, manzanas, papaya, piña, plátano, naranja) y vegetales (maíz, caña de azúcar, frijol, col, zanahoria, tomate, lechuga, papa) (González y cols., 2015). Este tipo de residuos –provenientes de la industria de alimentos, así como del sector agroindustrial y doméstico– se puede aprovechar para producir biocombustibles sólidos. Existen cerca de 200 productos agrícolas que se cultivan en México, entre ellos destacan algunos que se destinan al consumo humano directo, y otros que se canalizan al mercado exterior con la consecuente generación de divisas para el país. Entre los primeros se encuentran el maíz, el frijol, el trigo, el arroz, el sorgo, la caña de azúcar y las oleaginosas; entre los productos de exportación más importantes están el café, el jitomate, el algodón y algunas frutas.

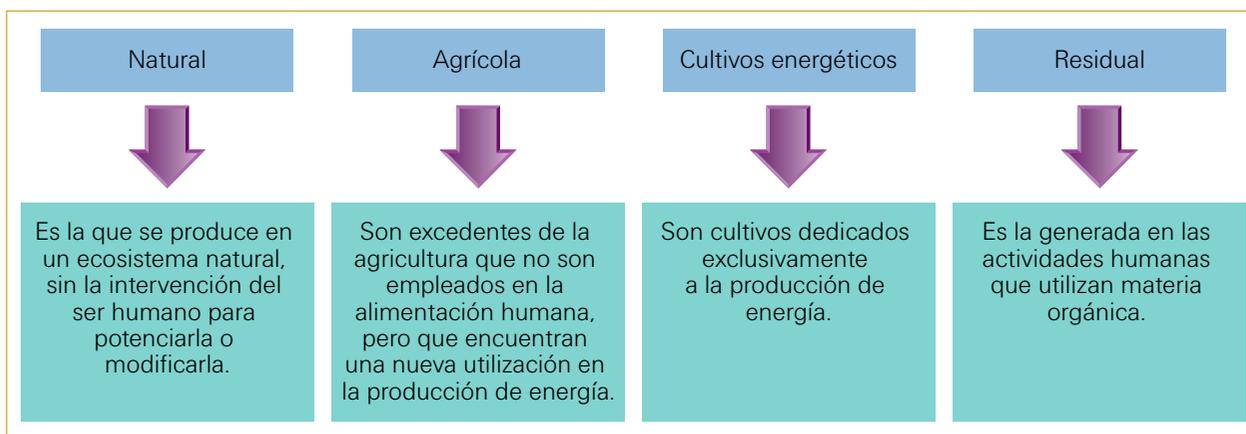


Figura 1. Tipos de biomasa (con información de Garrido, 2009).



Residuos de naranja y de caña de azúcar.

Asimismo, se han considerado diversos tipos de residuos para la producción de biocombustibles sólidos, entre los que se pueden mencionar la paja, los restos de poda, la leña o las cortezas. También se pueden emplear materiales de origen agrario, los cuales incluyen las cáscaras de frutos secos, las semillas, los residuos resultantes de la extracción de aceites, los restos de la industria del corcho, la madera, entre otros.

En un país como México, con un destacado potencial de producción de biomasa, esto puede ayudar a la diversificación de la matriz energética nacional, al mismo tiempo que se resuelve un problema ambiental. Por ello, el impulso e integración de la cadena de aprovechamiento de este tipo de residuos es de vital importancia para el desarrollo sostenible en nuestro país.

Tipos de biocombustibles sólidos

Los biocombustibles sólidos pueden producirse mediante diferentes métodos, considerando la naturaleza de la biomasa y el uso del biocombustible deseado (Salinas y Gasca, 2009). Usualmente los biocombustibles sólidos se producen mediante procesos mecánicos, como el astillado, la trituración y la compactación. El astillado consiste en la reducción del material mediante la utilización de cuchillas o elementos como tornillos con bordes afilados. Por otra parte, la trituración es un proceso que consiste en partir o desmenuzar en trozos más pequeños una materia sólida, pero sin llegar a convertirla en polvo;

el proceso se realiza mediante máquinas capaces de triturar en diferentes tamaños, de los cuales resultan los diferentes niveles de trituración: primaria (de 1 mm a 10 cm) y secundaria (de 10 cm a 1 mm). Finalmente, la compactación es un proceso mediante el cual se le da forma a los biocombustibles sólidos aplicando presión para lograr unir la materia prima; este proceso se puede realizar mediante una pelletizadora.

Con estos procesos se generan diferentes tipos de biocombustibles sólidos, los cuales se describen a continuación:

- *Pellets*: Son cilindros con dimensiones que van de 6 a 8 mm de diámetro y de 60 a 25 mm de longitud. Se obtienen mediante el prensado de diversos materiales, como aserrín, cascarillas, pajas, entre otras. La compactación se consigue de manera natural o mediante la adición de elementos químicos que no contengan contaminantes durante la combustión.
- *Briquetas*: Son cilindros con dimensiones que van de 50 a 130 mm de diámetro y de 5 a 30 mm de longitud. Tienen una densidad elevada (entre 1000 y 1300 kg/m³) y se fabrican –al igual que los pellets– por medio de prensas, en las que el material se calienta y somete a altas presiones. En ocasiones se añaden aglutinantes artificiales para facilitar la cohesión del material y reducir la presión de prensado.
- *Astillas*: Proviene generalmente de tratamientos selvícolas y aprovechamientos forestales (podas,

clareos, claras, etc.), así como de las industrias de primera y segunda transformación de la madera. Como resultado de reducir el tamaño de la madera, se da lugar a trozos pequeños de forma irregular.

- **Carbón vegetal:** Es un combustible sólido que presenta un contenido muy elevado de carbono, por lo que su poder calorífico es muy superior al de la madera (puede llegar hasta 35 MJ/kg). Se produce gracias a una combustión incompleta (hasta temperaturas de 400 a 700 °C) de la madera y otros residuos vegetales. Difícilmente es alterable, además no se ve afectado por hongos e insectos xilófagos.
- **Residuos agroindustriales:** Son un tipo de biocombustibles sólidos provenientes de subproductos de las almazaras, como el hueso de aceituna y el orujillo, los huesos de melocotón o albaricoque, las cáscaras de frutos secos, como almendra, piña y piñones, entre otras. Para el uso de este tipo de residuos como combustibles es indispensable conocer sus características fisicoquímicas.

Los diferentes biocombustibles sólidos presentados anteriormente se pueden emplear en diversas aplicaciones de generación de energía eléctrica o calorífica. En general, las aplicaciones son para la calefacción de viviendas, naves industriales, invernaderos, hoteles, etcétera; esto se realiza mediante equipos generadores de calor con una eficiencia superior a 90% y totalmente automatizados. También existen equipos que aprovechan los biocombustibles sólidos para calentar el agua. El detalle del tipo de instalaciones, así como la descripción de los servicios que pueden presentar, se encuentra en la Tabla 2. Las posibles aplicaciones nos demuestran que los biocombustibles sólidos poseen un gran potencial de uso; en particular, porque representan una alternativa energética renovable y de bajo impacto ambiental.

■ ■ ■ **Estándares para los biocombustibles sólidos**

■ Para los biocombustibles sólidos la Organización Internacional de Normalización ha creado la serie ISO 17225, la cual es aplicada para la producción de

este tipo de biocombustibles a nivel mundial. Dichas normas están destinadas a todos los actores que participan en la cadena de suministro de biocombustibles sólidos, incluidos los productores de combustible, comerciantes, usuarios finales, autoridades y reguladores. Estas normas servirán como herramientas para permitir el comercio eficiente de los biocombustibles sólidos, y fomentar un mejor entendimiento entre el vendedor y el comprador; así como para facilitar la comunicación con los fabricantes de equipos.

El principal desafío para los combustibles provenientes de la biomasa es que no son homogéneos. Las propiedades de cada tipo de biomasa difieren dependiendo de la materia prima. También existen diferentes intereses y prácticas nacionales detrás de la producción de los biocombustibles sólidos. Ante esto, la serie ISO 17225 determina las especificaciones y clases basadas en el origen y la fuente de las materias primas para biocombustibles sólidos: leñosos, herbáceos, frutales, de biomasa acuática y combinaciones y mezclas. Luego, para cada forma comercializada como pellets, se seleccionaron propiedades de calidad por separado; pero se especificaron el origen, la fuente, humedad y cenizas para todas las formas comercializadas. Con la serie ISO 17225 se están preparando casi 60 normas internacionales para biocombustibles sólidos en pellets de madera graduadas, briquetas de madera graduadas, astillas de madera graduadas, pellets no leñosas graduadas y combustibles de biomasa tratados térmicamente y densificados, entre otros.

Tabla 2. Instalaciones en función de los servicios prestados (con información de Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2012).

Instalaciones	Descripción
Estufas	Para calentar pequeñas estancias, como comercios, restaurantes, estudios, salas de estar, etc.
Calderas domésticas	Para dar servicio de calefacción y agua caliente sanitaria a pisos, caseríos, hoteles rurales, chalets, viviendas unifamiliares, etc.
Calderas de mediana potencia	Para servicios de calefacción y agua caliente sanitaria a bloques de viviendas, edificios de oficinas, etc.
Calderas industriales	Para generar calor en instalaciones ganaderas, industria, etc., y agua caliente sanitaria de pequeños municipios.

Conclusiones

Los biocombustibles sólidos representan una alternativa de energía renovable que permite resolver dos problemas importantes: el cambio climático y la contaminación por la acumulación de residuos.

A nivel mundial se produce una gran cantidad de biomasa que puede ser utilizada en la producción de los biocombustibles sólidos; esto también aplica para México. Los biocombustibles sólidos se pueden obtener mediante diferentes procesos como el astillado, el triturado y la compactación, los cuales permiten incrementar la eficiencia de producción. Dichos biocombustibles se pueden utilizar para generar energía eléctrica y calorífica en aplicaciones tanto domésticas como industriales.

Es indispensable que tomemos conciencia de la utilización de los biocombustibles sólidos para dejar de lado a los combustibles convencionales; esto nos permitirá cuidar el ambiente y reducir la huella de carbono que hemos dejado por el uso indiscriminado de los combustibles fósiles.

Los autores agradecen el apoyo económico brindado por el Conacyt a través del proyecto 239765, así como la beca de manutención Conacyt-Sener de Inés María Ríos Badrán. Igualmente, agradecen el apoyo proporcionado por Exxerpro Solutions.

Inés María Ríos Badrán

Universidad Autónoma de Querétaro
inesmariariosbadran@gmail.com

José Santos Cruz

Universidad Autónoma de Querétaro
jsantos@uaq.edu.mx

Claudia Gutiérrez Antonio

Universidad Autónoma de Querétaro
claudia.gutierrez@uaq.mx

Lecturas recomendadas

- Garcés Hernández, L. A., P. A. Gutiérrez Forero y J. P. Reyes Alfonso (2014), *Proyecto de investigación: Producción de biogás a partir de residuos agrícolas*. Disponible en: <https://www.academia.edu/10345310/PROYECTO_DE_INVESTIGACION_C3%93N_Producci%C3%B3n_de_Biog%C3%A1s_a_partir_de_residuos_agr%C3%ADcolas_>, consultado el 3 de octubre de 2017.
- Garrido, S. G. (2009), *Centrales termoeléctricas de biomasa*, Madrid, Renovetec.
- González Sánchez, M. E., S. Pérez Fabel, A. Wong Villareal et al. (2015), "Residuos agroindustriales con potencial para la producción de metano mediante la digestión anaerobia", *Revista Argentina de Microbiología*, 47(3):229-235. Disponible en: <<http://www.scielo.org.ar/pdf/ram/v47n3/v47n3a10.pdf>>, consultado el 3 de octubre de 2017.
- Guo, M., W. Song y J. Buhain (2014), "Bioenergy and biofuels: History, status, and perspective", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42:712-725. Disponible en: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114008302>>, consultado el 3 de octubre de 2017.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (26 de enero de 2012), Área Tecnológica: Biomasa y Residuos. Mapa Tecnológico: Calor y Frío Renovables. Observatorio Tecnológico de la Energía. Disponible en: <http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Calor_y_Frio_Renovables_Biomasa_11012012_global_v2_09570f12.pdf>, consultado el 3 de octubre de 2017.
- Razo, C., C. Ludeña, A. Saucedo et al. (2007), *Producción de biomasa para biocombustibles líquidos: el potencial de América Latina y el Caribe*, Serie Desarrollo Productivo núm. 181, Santiago de Chile, CEPAL, 84 pp. Disponible en: <http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/4581/S0700830_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y>, consultado el 3 de octubre de 2017.
- Romero Salvador, A. (2010), "Aprovechamiento de la biomasa como fuente de energía alternativa a los combustibles fósiles", *Rev. R. Acad. Cienc. Exact. Fís. Nat. (Esp)*, 104(2):331-345. Disponible en: <<http://www.rac.es/ficheros/doc/00979.pdf>>, consultado el 3 de octubre de 2017.
- Salinas Callejas, E. y V. Gasca Quesada (2009), "Los biocombustibles", *El Cotidiano*, 157:75-82. Disponible en: <<http://www.elcotidianoenlinea.com.mx/pdf/15709.pdf>>, consultado el 3 de octubre de 2017.
- Saval, S. (2012), "Aprovechamiento de residuos agroindustriales: pasado, presente y futuro", *BioTecnología*, 16:14-46. Disponible en: <http://www.smbb.com.mx/revista/Revista_2012_2/Saval_Residuosagroindustriales.pdf>, consultado el 3 de octubre de 2017.
- Wilches Flórez, Á. M. (2011), "Biocombustibles: ¿son realmente amigables con el medio ambiente?", *Revista Colombiana de Bioética*, 6(1):89-102. Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=189219032007>>, consultado el 5 de octubre de 2017.