



BIOCOMBUSTIBLES SÓLIDOS: UNA ALTERNATIVA ECONÓMICA Y SOSTENIBLE PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN MÉXICO

SOLID BIOFUELS: A SUSTAINABLE AND ECONOMIC ALTERNATIVE FOR THE GENERATION OF ELECTRIC ENERGY IN MEXICO

Inés María Ríos-Badrán¹, Iván Luzardo-Ocampo¹, José Santos-Cruz¹, Juan Fernando García-Trejo², Claudia Gutiérrez-Antonio^{1*}

¹ Facultad de Química, Universidad Autónoma de Querétaro, Av. Cerro de las Campanas s/n, Col. Las Campanas, 76010, Querétaro, México.

² Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro, Av. Cerro de las Campanas s/n, Col. Las Campanas, 76010, Querétaro, México.

* Autor de correspondencia, e-mail: claugtez@gmail.com; claudia.gutierrez@uaq.mx

Resumen

En México, los pronósticos indican que el consumo de energía seguirá en aumento, principalmente debido al incremento poblacional. Por otra parte, la mayor parte de la energía que se emplea proviene de fuentes fósiles, cuya producción se encuentra en declive. Por ello es importante buscar nuevas fuentes energéticas que permitan producir la energía necesaria, pero de manera sostenible. En este contexto, el uso de residuos agroindustriales representa una alternativa con potencial para la fabricación de biocombustibles sólidos, los cuales se pueden emplear para generar energía eléctrica y/o calorífica. En particular, los pellets, un tipo de biocombustible sólido, pueden emplearse para la generación de energía eléctrica, reemplazando al carbón de origen vegetal. Por ello, el uso de pellets elaborados a partir de residuos agroindustriales son el objeto del presente artículo, así como el efecto de su potencial uso en México sobre el precio de generación de la energía eléctrica.

Palabras claves: residuos agroindustriales, pellets, electricidad, bioenergía, biocombustibles sólidos.

Abstract

In Mexico, forecasts indicate that energy consumption will continue to increase, mainly due to the population growth. On the other hand, most of the energy that is used comes from fossil sources, whose production is in decline. Therefore, it is important to look for new energy sources that can produce the necessary energy, but in a sustainable manner. In this context, the use of agroindustrial waste represents an alternative with potential for the manufacture of solid biofuels, which can be used to generate electricity and/or heat. In particular, pellets, a type of solid biofuel, can be used for the generation of electrical energy, replacing coal of vegetable origin. Therefore, the use of pellets made from agroindustrial waste are the subject of this article, as well as the effect of its potential use in Mexico on the price of electric power generation.

Keywords: agroindustrial wastes, pellets, electricity, bioenergy, solid biofuels.

Introducción

Hoy en día, la mayor parte de la energía utilizada por la sociedad proviene de fuentes fósiles, entre las que se encuentran el petróleo, el carbón y el gas natural. Asimismo, dicho consumo de energía aumentará en los próximos años, debido principalmente al incremento poblacional. Por lo tanto, es necesario buscar alternativas que permitan satisfacer la demanda de energía, dado que las reservas mundiales de las fuentes fósiles han iniciado su declive. En países como México y Noruega se han observado decrementos en la producción en el período 2016-2018; en el Reino Unido y el resto del mundo el crecimiento fue extremadamente reducido (IEA, 2019). Adicionalmente, en la generación de energía debe procurarse la minimización del impacto ambiental; lo anterior con el objetivo de coadyuvar a la mitigación del problema del cambio climático. Así, algunas de las fuentes alternativas que han sido investigadas incluyen la energía contenida en las corrientes de aire (eólica), la radiación del sol (solar), las corrientes del agua del mar (maremotriz), así como aquella de las plantas y los animales (biomasa) (Aleman-Nava y cols., 2014). En particular, la biomasa es muy abundante en el planeta, y se considera que es la cuarta mayor fuente generadora de energía primaria en el mundo, contribuyendo con un 12% (García y cols., 2017). Por ello, la biomasa es una alternativa interesante para la generación de energía. Actualmente existe una controversia respecto de si la biomasa será suficiente para generar la energía que se requiere a nivel mundial (Slade y cols., 2011); a pesar de que en algunos estudios se han realizado estimaciones, a la fecha no hay un consenso al respecto. No obstante, es un hecho que es una materia prima que contribuirá de manera significativa a la generación de energía renovable. De acuerdo con la Real Academia Española, la biomasa se define como aquella materia orgánica originada en un proceso biológico, y que es utilizable como fuente de energía (RAE, 2019). Asimismo, la biomasa se clasifica según su fuente en natural, residual, cultivos energéticos, y excedentes agrícolas. De manera particular, los excedentes agrícolas o residuos sólidos agroindustriales (RSA) son materiales que se generan a partir del consumo directo de productos primarios agrícolas o de su industrialización; dichos residuos ya no son de utilidad para el proceso que los generó, pero son susceptibles de aprovechamiento o transformación para generar otros produc-

tos con valor económico, de interés comercial y/o social (Saval, 2012). A nivel mundial la producción de RSA es de gran envergadura, siendo aproximadamente de 3,045 Mt por año (Giusiano, 2016). En México, la producción de RSA también es significativa; en 2014, del total de productos agrícolas cosechados el 25% fueron residuos, por lo que se estimó que se generaron cerca de 268.9 millones de toneladas de RSA (Gasca Álvarez, 2015). Algunos de los RSA se emplean como alimentación para el ganado, tal es el caso de los residuos del cultivo de soya, o bien para la elaboración de bloques de construcción, como las cascarillas derivadas del cultivo del arroz. No obstante, aquellos residuos que no poseen propiedades nutritivas para que puedan usarse en la alimentación animal usualmente son quemados o abandonados en los campos de cultivo. Lo anterior se debe a que no se han explorado algunos otros usos que permitan utilizarlos para la generación de productos de valor agregado. Un uso que recientemente ha cobrado interés es la obtención de biocombustibles sólidos a partir de residuos agroindustriales.

Los biocombustibles sólidos generados a partir de residuos sólidos agroindustriales podrían emplearse para generar energía eléctrica. Esto permitiría resolver el problema de contaminación que representan los residuos agroindustriales, debido a los elevados volúmenes en los que son generados. Adicionalmente, su uso permitirá disminuir el impacto ambiental, así como el costo de producción por kWh de energía eléctrica, en comparación con el uso de carbón. Por lo tanto, en el presente artículo se analizará el efecto del precio del kWh de energía eléctrica producida a partir de carbón y de pellets en las centrales eléctricas. Para ello, se proporcionará información sobre los pellets, posteriormente se presentará el proceso de generación de electricidad a partir de combustibles sólidos, y finalmente el precio estimado del kWh producido a partir de biomasa.

2. Biocombustibles sólidos

Los biocombustibles sólidos se definen como aquellos combustibles generados a partir de biomasa, y que se caracterizan por encontrarse en estado sólido. Los biocombustibles sólidos pueden producirse a partir de diferentes tipos de biomasa, siendo el uso de RSA una de las alternativas que más interés ha recibido, ya que permite

valorizar los residuos, los cuales en su mayoría representan un problema de contaminación. Existen diferentes tipos de biocombustibles sólidos, siendo los pellets los más populares, Figura 1. Los pellets son pequeños cilindros de material comprimido de diferentes tipos de biomasa. Las propiedades físicas y químicas de los pellets se rigen por la norma ISO 17225-6 (ISO, 2019). Respecto de sus dimensiones (diámetro y longitud), el rango de los diámetros es de 6-8 mm, mientras que el rango de las longitudes es de 3.15 a 40 mm (ISO, 2019). Por otra parte, una de las propiedades químicas más importantes es el poder calorífico, que se define como la cantidad de energía que el pellet puede suministrar por unidad de masa. De acuerdo con la norma, los pellets elaborados a partir de residuos agroindustriales deben poseer un poder calorífico mínimo de 14.5 MJ/kg (ISO, 2019); este valor requerido se encuentra por debajo del poder calorífico de los pellets de madera (18 MJ/kg), así como del carbón mineral (21 MJ/kg) y el carbón vegetal (29 MJ/kg).



Figura 1. Pellets elaborados a partir de cascarilla de arroz

Los pellets pueden quemarse para obtener energía calorífica, o bien energía eléctrica. Para la generación de energía calorífica, los pellets deben quemarse y la energía

liberada por su combustión debe ser transferida a una sustancia, que se emplea como medio de calentamiento. Por otra parte, la energía eléctrica podría obtenerse de las centrales térmicas (convencionales o de ciclo combinado). Dichas centrales emplean usualmente carbón como combustible, el cual es de origen fósil; sin embargo, los pellets pueden ser empleados en ellas, dado que su poder calorífico es similar al del carbón (18% menor). La diferencia en el poder calorífico implica que se requerirá una mayor cantidad de pellets para producir la misma cantidad de energía que el carbón, pero la gran ventaja sería el uso de un combustible renovable obtenido de la revalorización de los residuos agroindustriales. Sin embargo, pueden emplearse en las centrales termoeléctricas para la producción de energía eléctrica, proceso que se describe en la siguiente sección.

3. La generación de electricidad

En México, la energía eléctrica se produce mediante diferentes procesos. Uno de ellos es el proceso termoeléctrico, que consiste en aprovechar la energía liberada por la quema de un combustible para generar energía eléctrica. En este proceso, se quema un combustible en una caldera, y el calor liberado se transfiere a agua líquida; el agua líquida cambia a fase vapor, al absorber la energía de la combustión. Posteriormente, ese vapor se hace pasar mediante una turbina, en la que la energía contenida en el vapor mueve la turbina, la cual impulsa un alternador que la transforma en electricidad. La Figura 2 representa de manera esquemática el proceso de generación de energía eléctrica a partir de un combustible sólido.

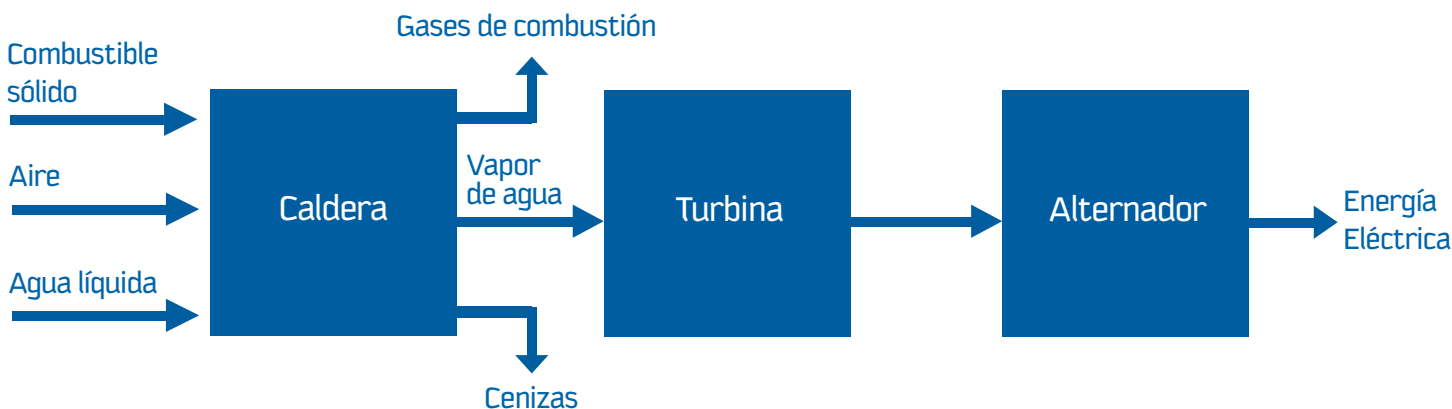


Figura 2. Proceso simplificado de generación de energía eléctrica mediante un proceso termoeléctrico.

En las centrales termoeléctricas de México, usualmente se emplea carbón de origen vegetal como combustible. El carbón vegetal es un producto de origen rural que es comercializado en los centros urbanos; el carbón representa el 9.4% de la producción forestal nacional. El 72.36% de la producción nacional de carbón se genera en Sonora, Tamaulipas y Durango (SEMARNAT, 2016). En 2014, el 11.1% de la energía eléctrica en México se generó de la quema de carbón, mientras que las fuentes energéticas renovables contribuían con tan sólo el 3% (Pérez-Denicia y cols., 2017). Como puede observarse, la cantidad de electricidad generada a partir de fuentes renovables sigue siendo baja en el país, a pesar de que se estima un crecimiento de 3.4% anual (SENER, 2015). Con la finalidad de revertir esta situación, el gobierno mexicano se ha propuesto generar el 35% de la electricidad a partir de fuentes renovables para el año 2025; esto implica invertir en investigación y desarrollo así como buscar mecanismos que estimulen el uso de energías renovables (Pérez-Denicia y cols., 2017). Algunas estimaciones indican que la bioenergía podría satisfacer hasta el 16% de la demanda energética para 2035; es decir, el 20% de la energía final consumida en México en el 2010 (García Bustamante y Masera Cerutti, 2016).

En la actualidad, el país tiene una capacidad instalada de generación energética a partir de biomasa de 370 MW, y se encuentra distribuida en 17 estados de la República, liderando el Estado de México (47%), seguido de Veracruz (15%), Hidalgo (9%) y Jalisco y Coahuila (8% cada uno) (Pérez-Denicia y cols., 2017). De dicho potencial energético se estima que el 77.9% podría provenir de la biomasa sólida, específicamente los residuos sólidos agroindustriales. No obstante, la contribución de la biomasa sólida podría ser mayor si los pellets son empleados en las centrales eléctricas que operan con carbón vegetal. De acuerdo con la Comisión Federal de Electricidad, las centrales que emplean carbón reportaron una capacidad de 77,463,000 MWh para el año 2015 (CFE, 2015); dicha energía eléctrica podría producirse a partir de pellets elaborados a partir de residuos sólidos agroindustriales. No obstante, a pesar de ser factible técnicamente un aspecto importante es el costo de dicha producción, aspecto que se presentará en la siguiente sección.

4. Costo de generación de electricidad

Es importante mencionar que el costo de generación de electricidad depende de la disponibilidad de materia prima, los costos de transporte, costos de transformación y costos derivados (Edenhofer y cols., 2012; García Bustamante y Masera Cerutti, 2016). Por ejemplo, los costos promedios de transporte de la biomasa pueden oscilar entre \$295.03 a \$392.7 MX para distancias promedio de transporte de 30 a 60 km; con precios de equilibrio que se encuentran en el rango de \$293.59 a \$ 375.9 MX por MWh para plantas con tamaños de 20 y 10 MW, respectivamente. Debido a los costos de transporte, la generación energética a partir de biomasa sería económicamente viable para plantas con capacidad instalada de 10 MW o mayores. Además, en algunos países europeos existen incentivos con los cuales se logran reducciones en los costos, debido a la disminución de la huella de carbono; esto contribuiría a tener mayor rentabilidad en el uso de pellets para generar energía térmica y eléctrica (Cerdá Tena, 2012; Rodríguez-Monroy y cols., 2018).

Si bien pareciera que el costo de utilizar carbón vegetal para generar energía eléctrica es menor que el asociado al uso de pellets, esto sólo es posible en generadoras de electricidad de alta eficiencia; además, el uso del carbón conlleva a un mayor costo ambiental, ya que se generan 960-1,050 g CO₂/kWh por la quema de carbón, frente a 14-41 g CO₂/kWh de la quema de diferentes formas de biomasa (Cerdá Tena, 2012). Por ello, considerando todos estos aspectos, el costo de la generación de electricidad a partir de pellets es considerablemente más bajo que con el uso de carbón, como se observa en la Tabla 1. Los datos presentados en la Tabla 1 fueron reportados por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (2011). Estos datos fueron reportados para la Unión Europea, y consideran el costo del proceso productivo únicamente y no toda la cadena de suministro. Asimismo, se han considerado los valores más favorables para el cálculo de dicho costo. Se utilizan estos datos, ya que de acuerdo con García Bustamante y Masera Cerutti (2016) en México aún no se cuenta con este tipo de estudios.

Tabla 1. Comparación de costos de generación de 1 kWh de energía eléctrica según su fuente.

Fuente	Residuos de aserradero y chips	Gasificación de pequeños residuos	Biocombustibles líquidos y gaseosos	Carbo-eléctricas	Pellets elaborados con RSA
Costo [\$ MXN]	1.72	2.63	3.19	103.3	6.17

Ahora bien, el costo de generación por kW es un factor muy importante para la viabilidad de uso de los pellets elaborados a partir de residuos; sin embargo, no es el único factor que debe analizarse. Otro aspecto de vital importancia es el análisis de ciclo de vida que incluye el total de emisiones derivadas en la cadena de suministro para la producción y uso de los biocombustibles sólidos para la generación de energía eléctrica. Hay estudios en Estados Unidos que muestran que es posible reducir hasta en un 76% las emisiones de GEI cuando se emplean pellets para producción de energía eléctrica (Beagle y Belmont, 2019). Por ello, el uso de pellets elaborados a partir de residuos agroindustriales es una alternativa con gran potencial para producir energía eléctrica de manera sustentable y con bajo costo.

5. Conclusiones

Los residuos sólidos agroindustriales constituyen una materia prima abundante en México que puede ser utilizada para la producción de biocombustibles densificados o pellets. Los pellets poseen un adecuado poder calorífico que junto con su bajo costo contribuirían a la generación de energía eléctrica de forma económica y sostenible, en comparación con el uso de carbón.

Por ello, es necesario realizar mayor investigación respecto del uso de los residuos sólidos agroindustriales como alternativa energética; esto contribuirá con el cuidado al medio ambiente al mismo tiempo que se satisfacen los requerimientos energéticos a un costo accesible para los sectores industrial y doméstico.

Resúmenes curriculares

Inés María Ríos-Badrán

Maestra en Ciencias de la Energía por la Universidad Autónoma de Querétaro. Sus intereses de investigación versan sobre la producción de combustibles sólidos. inesmariariosbadran@gmail.com

Iván Luzardo-Ocampo

Maestro en Ciencia y Tecnología de los Alimentos por la Universidad Autónoma de Querétaro, y actualmente cursa estudios de Doctorado en Ciencia y Tecnología de los Alimentos en la misma institución. Sus intereses de investigación versan sobre análisis y caracterización de productos alimenticios, así como el aprovechamiento de los residuos derivados. ivan.8907@gmail.com

José Santos-Cruz

Profesor Investigador de la Facultad de Química de la Universidad Autónoma de Querétaro. Sus intereses de investigación versan sobre síntesis de materiales fotovoltaicos a partir de materiales orgánicos. Actualmente es Investigador Nacional Nivel II del Sistema Nacional de Investigadores. jsantos@uaq.edu.mx

Juan Fernando García-Trejo

Profesor Investigador de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro. Sus intereses de investigación versan sobre el aprovechamiento de biomásas para obtener productos de alto valor agregado en aplicaciones biotecnológicas, farmacéuticas y alimenticias. Actualmente es Investigador Nacional Nivel I del Sistema Nacional de Investigadores. juanfernando77@gmail.com

Claudia Gutiérrez Antonio

Profesora Investigadora de la Facultad de Química de la Universidad Autónoma de Querétaro. Sus intereses de investigación versan sobre procesos intensificados para la producción de biocombustibles mediante estrategias de integración energética y optimización estocástica multiobjetivo. Actualmente es Investigadora Nacional Nivel II del Sistema Nacional de Investigadores. claudia.gutierrez@uaq.mx

Referencias bibliográficas

- Alemán-Nava, G.S., Casiano-Flores, V.H., Cárdenas-Chávez, D.L., Díaz-Chavez, R., Scarlet N., Mahlknecht, J., Dallemand, J.F., Parra, R., 2014, Renewable energy research progress in Mexico: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 32, 140-153.
- Beagle, E., Belmont, E., 2019, Comparative life cycle assessment of biomass utilization for electricity generation in the European Union and the United States, *Energy Policy*, 128, 267-275.
- Cerdá Tena E., 2012, Energía obtenida a partir de biomasa, *Cuadernos económicos de ICE*, 83, 117-140.
- García, R., Pizarro, C., Lavín, A.G., Bueno, J.L., 2017, Biomass sources for thermal conversion. Techno-economical overview, *Fuel*, 195, 182-189.
- García Bustamante, C.A., Masera Cerutti, O., 2016, Estado del arte de la bioenergía en México. Publicación de la Red Temática de Bioenergía (RTB) del Conacyt. Imagia Comunicación S. de RL. de CV. ISBN: 978-607-8389-11-7. México.
- Gasca Álvarez, S., 2015, Producción de bioenergéticos, el mercado y sus oportunidades en México. Presentación realizada en el Foro Internacional 2015. Disponible en: http://foroenres2015.mx/8_0710_ForoEnRes_Sergio_Gasca.pdf
- Giusiano, M., 2016, Biogás a partir de rastrojo de maíz. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/291978395/Bioagas-a-partir-de-rastrojo-de-maiz>.
- Intergovernmental Panel on Climate Change, 2011, Renewable energy sources and climate change mitigation special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change - Summary for policymakers and technical summary. Disponible en: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/SR-REN_FD_SPM_final-1.pdf
- International Energy Agency, 2019, Oil Statistics. Disponible en: <https://www.iea.org/statistics/oil/>
- International Organization for Standardization, 2019, ISO 17225-6:2014. Solid biofuels -- Fuel specifications and classes -- Part 6: Graded non-woody pellets. Disponible en: <https://www.iso.org/standard/59461.html>
- Pérez-Denicia, E., Fernández-Luqueño, F., Vilariño-Ayala, D., Manuel Montaña-Zetina, L., & Alfonso Maldonado-López, L., 2017, Renewable energy sources for electricity generation in Mexico: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 597-613.
- Rodríguez-Monroy, C., Mármol-Acitores, G., Nilsson-Cifuentes, G., 2018, Electricity generation in Chile using non-conventional renewable energy sources - A focus on biomass, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 937-945.
- Saval, S., 2012, Aprovechamiento de Residuos Agroindustriales: Pasado, Presente y Futuro. *BioTecnología*, 16(2), 14-46.
- Real Academia Española, 2019, Consulta de la palabra biomasa. Disponible en: <https://dle.rae.es/?id=5Y-tOE4H>.
- Slade, R., Saunders, R., Gross, R., Bauen, A., 2011, Energy from biomass: the size of the global resource. Imperial College Centre for Energy Policy and Technology and UK Energy Research Centre, Disponible en: https://spiral.imperial.ac.uk/bitstream/10044/1/12650/4/GlobalBiomassReport_LOLO.pdf
- SEMARNAT, 2016, Anuario Estadístico de la Producción Forestal. Disponible en: http://nube.siap.gob.mx/cierre_agricola/
- SENER, 2015, Prospectiva del Sector Eléctrico 2015-2029. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/44328/Prospectiva_del_Sector_Electrico.pdf.
- Serrano, C., Monedero, E., Lapuerta, M., Portero, H., 2011, Effect of moisture content, particle size and pine addition on quality parameters of barley straw pellets, *Fuel Processing Technology*, 92(3), 699-706.

