

Ana Laura Moreno Gómez, Claudia Gutiérrez Antonio y Fernando Israel Gómez-Castro

Combustible de aviación a partir de residuos avícolas

La bioturbosina es un combustible renovable para el sector de la aviación, producido a partir de distintos tipos de biomasa. La grasa de pollo es un tipo de biomasa, por lo que este residuo puede convertirse en bioturbosina mediante un proceso denominado hidrotatamiento. En el presente artículo se analiza el potencial de producción de bioturbosina en México a partir de esta materia prima.

Introducción

Cada 18 de marzo se celebra el día de la expropiación petrolera, un acontecimiento que influyó de manera significativa en la economía mexicana. En 1938 la clase obrera reclamaba sus prestaciones laborales, pero cuando las empresas privadas se negaron a dichas peticiones, el entonces presidente Lázaro Cárdenas intervino: en la noche del 18 de marzo, en la radio nacional, leyó el decreto de la expropiación petrolera, el cual validó el artículo 27 de la Constitución, que establece que son propiedad de la nación todos los recursos naturales de la plataforma continental, así como sus yacimientos minerales u orgánicos de materias susceptibles de ser utilizadas como fertilizantes, combustibles minerales sólidos, petróleo y todos los hidrocarburos sólidos, líquidos o gaseosos. En particular, con respecto a los hidrocarburos líquidos, en 1971 un pescador llamado Rudesindo Cantarell descubrió el yacimiento de petróleo más grande de América y el segundo del mundo; este evento tan relevante representa un punto clave para la economía mexicana, gracias a que originó un considerable incremento en la producción de crudo. No obstante, hoy día en el yacimiento Cantarell sólo se producen 200 000 barriles de petróleo al día, en comparación con los dos millones de barriles diarios que se lograron extraer cuando éste se encontraba en su mejor momento.

Los acontecimientos descritos anteriormente fueron claves para la producción de petróleo y sus derivados en México y, en especial, para la generación de energía y la de combustibles. En este contexto, los pronósticos indican que, debido al incremento poblacional, la cantidad de energía requerida para la vida diaria y el desarrollo de los sectores económicos será cada vez mayor. Sin embargo, actualmente la producción de petróleo en México se encuentra en declive; en la Figura 1



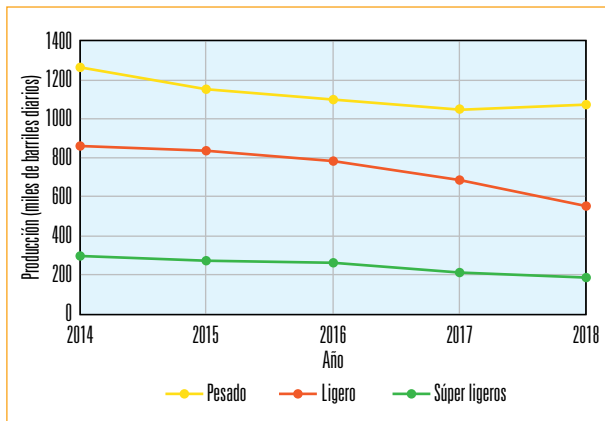


Figura 1. Producción de hidrocarburos en México en el periodo 2014-2018.

se muestra que en 2018 hubo una disminución de 36% en la producción de hidrocarburos súper ligeros (nafta, queroseno), de 37% en los hidrocarburos ligeros (gasolina, gas licuado) y de 15% en los hidrocarburos pesados (asfaltos, combustóleo pesado), con respecto a 2014 (Pemex, 2019). Adicionalmente, el uso intensivo de los combustibles derivados del petróleo ha ocasionado fuertes problemas ambientales por la acumulación de dióxido de carbono (CO_2) en la atmósfera, lo cual agrava el problema del cambio climático a escala global.

En este contexto, se hace necesario encontrar fuentes alternas de energía que ayuden a satisfacer la demanda en el país y, de forma simultánea, combatir el problema ambiental que el uso de combustibles fósiles origina. Uno de los sectores que más impacto sufre debido a la disminución en la producción de derivados del petróleo, así como a la variación en sus precios, es el transporte, tanto aéreo como terrestre. En particular, en el sector de la aviación, en los últimos años se ha observado un incremento significativo en el consumo de combustible conocido como queroseno o turbosina; en México, el consumo de queroseno durante 2015 fue de 4095 millones de litros, mientras que en 2016 fue de 4425 millones de litros (Datos Abiertos de México, 2019). Además, los pronósticos indican que el consumo energético del sector de la aviación incrementará entre 80% y 130% para las siguientes décadas, lo que acarreará un crecimiento de entre 16% y hasta 79% en emisiones de CO_2 que contribuirán al proble-

ma del calentamiento global (Gutiérrez-Antonio y cols., 2017).

Actualmente, la Agencia Internacional de Transporte Aéreo (IATA) promueve la generación de combustibles de aviación renovables y sustentables, con el objetivo de mitigar el problema de emisiones de gases de efecto invernadero y disminuir la variabilidad de los precios del combustible. Dichos combustibles de aviación pueden generarse a partir de la biomasa, la cual incluye a toda la materia orgánica generada por plantas y animales, así como sus residuos. Existen diferentes tipos de biomasa que han sido explorados para la producción de bioturbosina, tales como maderas, aceites de semillas como *Jatropha curcas*, desechos animales, tejidos adiposos, aceites de desecho de restaurantes y cocinas, residuos agrícolas, e incluso desechos sólidos municipales.

En diversas investigaciones realizadas en la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ) se ha observado que, en la cadena de suministro, la producción de la biomasa es el factor que más contribuye al costo del biocombustible (Gutiérrez-Antonio y cols., 2017). Por ello, los aceites y las grasas residuales representan una solución para la producción sustentable y económicamente competitiva de la bioturbosina. Cabe aclarar que a temperatura ambiente el aceite es líquido y la grasa es sólida, pero ambos son materia orgánica constituida por ácidos grasos y triglicéridos; asimismo, si la grasa sólida se calienta, es posible obtener aceite. Tanto los aceites como las grasas residuales implican un problema de disposición, por lo que su uso para la producción de bioturbosina permite convertir un problema en un combustible renovable. Por ello, este artículo se enfoca en el uso de la grasa de pollo para la producción de combustible renovable de aviación, proyecto que se encuentra actualmente en desarrollo en la UAQ.

■ ■ ■ Biocombustible de aviación

■ El combustible renovable para el sector de la aviación se conoce como bioturbosina o queroseno parafínico sintético. La bioturbosina es un combustible especial, ya que, a pesar de ser producido a partir de la biomasa, debe poseer las mismas propiedades

Tabla 1. Propiedades fisicoquímicas de la turbosina (origen fósil) y la bioturbosina (origen biomasa).

Propiedad	Turbosina	Bioturbosina (<i>Jatropha curcas</i>)
Tipo de combustible	Queroseno	Queroseno para-fínico sintético
Rango de ebullición (°C)	170-300	172-243
Temperatura de congelación (°C)	-47	-57
Densidad a 15 °C (kg/m ³)	775-840	751-840
Viscosidad a -20 °C	8.0	3.66
Contenido energético (MJ/kg)	43.28	44.3

que la turbosina de origen fósil, o incluso superarlas (Gutiérrez-Antonio y cols., 2017). Lo anterior se debe a que las aeronaves de uso comercial están certificadas, por lo que emplear un combustible con propiedades diferentes conduciría a realizar modificaciones en los motores o en las estructuras de las aeronaves; ello implicaría que se tendría que certificar nuevamente toda la flota de aviones, con todos los costos y tiempos asociados. Por ello, la bioturbosina debe cumplir con el mismo estándar internacional que establece las propiedades fisicoquímicas de la turbosina de origen fósil; dicho estándar es la norma ASTM D7566 (ASTM, 2019). La Tabla 1 muestra que la bioturbosina posee propiedades superiores; por ejemplo, posee un contenido de energía mayor al de la turbosina de origen fósil.

La bioturbosina se produce mediante distintos procesos de conversión, cuyas características dependen de la naturaleza química de la materia prima (biomasa) que se emplee. Como se mencionó, este artículo se enfoca en la producción de bioturbosina a partir de grasas de pollo, las cuales, de acuerdo con su naturaleza química, se consideran como triglicéridos; en esta clasificación general se incluyen tanto los aceites como las grasas presentes en plantas y animales.

En particular, las grasas de pollo son residuos sólidos provenientes de la industria avícola. Estos re-

siduos son atractivos como materia prima para producir el combustible de aviación porque están disponibles todo el año y cada vez se generarán más debido al incremento en la demanda de alimentos ocasionado por el crecimiento poblacional.

Consideremos los datos: en México, de acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi, 2019), en 2015 había 119 938 473 habitantes; por otra parte, en 2018, la Unión Nacional de Avicultores estableció que hubo un consumo de 28.42 kg de pollo per cápita, lo cual permite calcular un consumo anual nacional de 3 408 651.403 toneladas de pollo. Es importante mencionar que se pronostica que la producción crece a un ritmo anual de 4%, sobre todo en las entidades líderes como Veracruz, Aguascalientes, Querétaro, Jalisco, Puebla, Chiapas y Guanajuato (Unión Nacional de Avicultores, 2018). En particular, en Querétaro hay 2 038 372 habitantes (Inegi, 2019), por lo que se estima un consumo total de 57 930.53 toneladas de pollo al año. Por otra parte, del peso total de la canal de pollo, 32.58% corresponde a tejido graso, mien-

Canal
Animal muerto sin patas, cabeza, intestinos, sangre ni plumas.



Catalizadores
Sustancias que permiten acelerar una reacción química.

tras que el resto es hueso y carne. Tomando en cuenta este dato, se estima que en Querétaro se generan anualmente 18 873.76 toneladas de grasa de pollo, mientras que en el país este valor es de 1 119 741.986 toneladas. Como puede observarse, tanto en el ámbito estatal como en el nacional existe una cantidad considerable de materia prima que puede emplearse para obtener bioturbosina, cuya ruta de conversión se describe a continuación.

■ Procesos de producción de bioturbosina

■ La bioturbosina puede producirse a partir de cualquier tipo de biomasa mediante diferentes rutas de procesamiento. De todos esos procesos, cinco de ellos se encuentran certificados de acuerdo con el estándar ASTM D7566 (ASTM, 2019): 1) proceso de gasificación seguido de la síntesis de Fischer-Tropsch; 2) hidroposeamiento de triglicéridos y ácidos grasos; 3) hidroposeamiento de azúcares fermentados; 4) querosenos sintetizados con aromáticos derivados por alquilación de aromáticos ligeros no provenientes del petróleo; y 5) alcohol a *jet* (combustible). En todos los procesos anteriormente mencionados, los términos “hidroposeamiento”, “gasificación”, “síntesis de Fischer-Tropsch”, así como “alquilación de aromáticos” se refieren a reacciones químicas mediante las cuales las biomazas se transforman en bioturbosina.

Los procesos certificados han sido estudiados por muchos investigadores, especialmente con el objetivo de analizar qué tan competitivos son entre ellos. Por ejemplo, Diederichs y cols. (2016) hicieron un estudio técnico-económico para la producción de bioturbosina a partir de materiales lignocelulósicos, aceites vegetales y azúcar de caña. Los resultados del estudio muestran que la materia prima y la inversión de capital fijo tienen la mayor influencia en el precio de venta del combustible; esto evidencia la necesidad de explorar la conversión de los residuos para la producción de bioturbosina. Por otra parte, también encontraron que el proceso con mayores costos de producción es la conversión bioquímica de material lignocelulósico hacia etanol para luego obtener la bioturbosina (alcohol a *jet*); mientras que

el proceso de menor costo de producción es el hidroposeamiento de triglicéridos, tecnología que permite convertir los aceites derivados de la grasa de pollo.

De manera específica, el proceso de hidrotreamiento también ha sido estudiado por Wang (2016), quien indica que el precio de la materia prima, la capacidad de la planta y los **catalizadores** empleados son parámetros que controlan el precio del biocombustible. En consecuencia, para producir un biocombustible competitivo, es necesario reducir el costo de la materia prima. Por ello, el hidroposeamiento de aceites de desecho es una de las alternativas más prometedoras para producir bioturbosina a un precio competitivo (Gutiérrez-Antonio y cols., 2017); dicho proceso se describe a continuación.

La conversión química de los triglicéridos presentes en la materia prima para obtener bioturbosina se lleva a cabo a través de reacciones de hidroxigenación, hidrosisomerización e hidrocraqueo, seguidas por la operación de destilación para separar, por medio de los diferentes puntos de ebullición, las fracciones obtenidas de las reacciones. En la Figura 2 se muestra el diagrama de bloques de dicho proceso, donde se pueden apreciar las distintas etapas antes mencionadas.

La reacción de hidroxigenación ocurre en el primer reactor; en esta reacción se emplea hidrógeno para convertir a los triglicéridos en cadenas largas de hidrocarburos. También en el primer reactor se elimina el oxígeno presente en los triglicéridos, mediante la formación de agua (H_2O), dióxido de carbono (CO_2), y monóxido de carbono (CO) (Gutiérrez-Antonio y cols., 2017). En seguida, en el segundo reactor, las cadenas largas de hidrocarburos

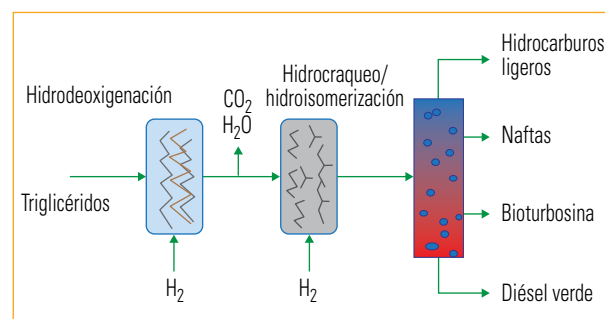


Figura 2. Proceso de hidrotreamiento para la producción de bioturbosina.

son recortadas para generar cadenas con longitud entre 8 y 16 carbonos, que son las que constituyen la bioturbosina. Además de la bioturbosina, se generan también gases ligeros, naftas y diésel verde, los cuales se separan mediante la tecnología de destilación. Éste es el proceso de hidrotratamiento convencional; sin embargo, recientemente Zhang y cols. (2017) reportaron un proceso en el que todas las reacciones se llevan a cabo en un solo reactor; este proceso se conoce como hidrotratamiento de un solo paso y se presenta en la Figura 3. El hidroprocesamiento de un solo paso permite reducir los costos asociados a la compra de los equipos, lo cual ayuda a tener un precio más competitivo para la bioturbosina.

Potencial de la producción de bioturbosina a partir de grasas de pollo

Como se mencionó anteriormente, en México se generan 1 119 741.986 toneladas de grasas de pollo. A partir de estos residuos se puede obtener aceite

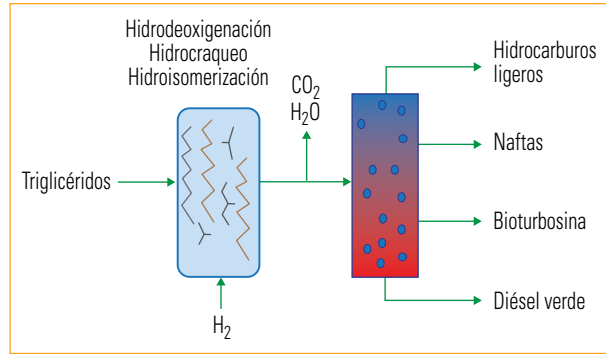


Figura 3. Proceso de hidrotratamiento en un solo paso para la producción de bioturbosina.

mediante su calentamiento. En la Figura 4 se observa un proceso simplificado de la obtención del aceite de la grasa de pollo: en el recuadro 1 se muestra la grasa de pollo sin procesar; en el recuadro 2 se muestra la obtención del aceite cuando se calienta la grasa; en el recuadro 3 se nota la separación del aceite y la grasa; en el recuadro 4 se puede observar el aceite obtenido.

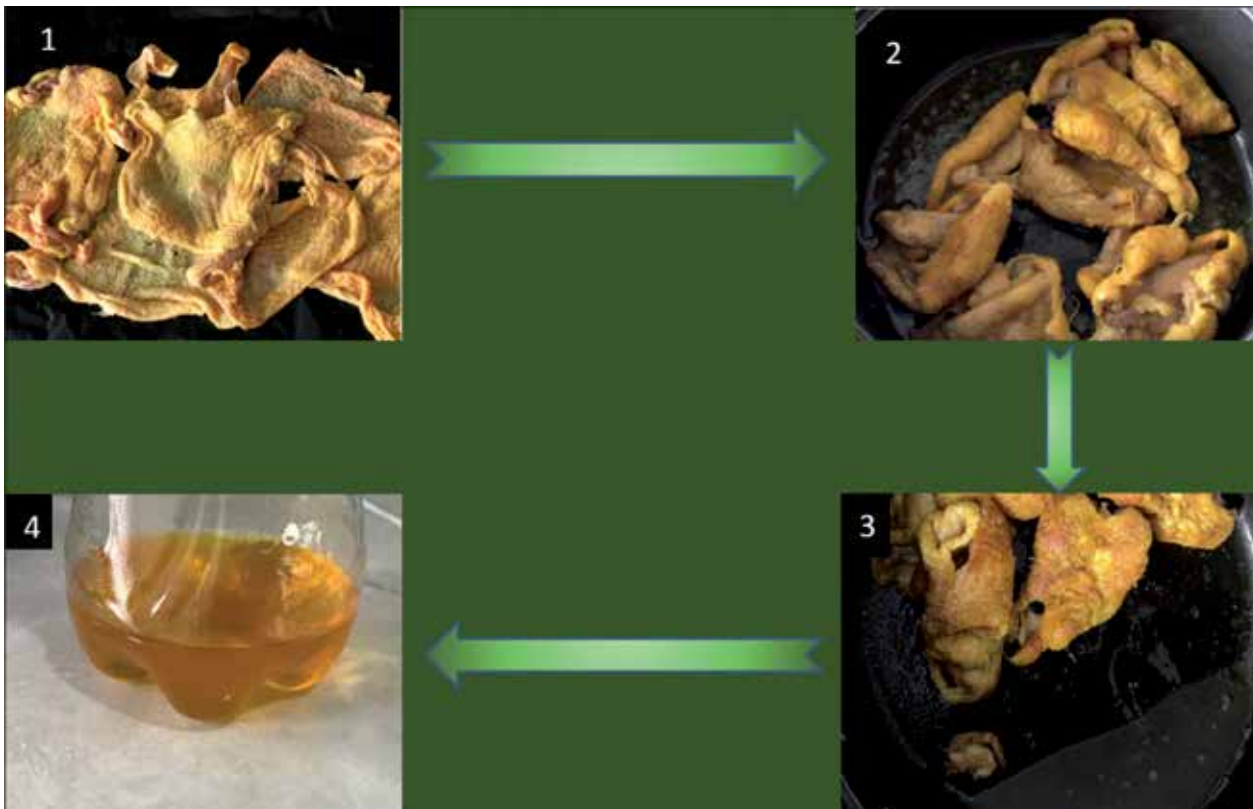


Figura 4. Proceso de obtención de aceite a partir de grasas de pollo.

El aceite resultante, en su mayoría, contiene triglicéridos y ácidos grasos libres, y en menor cantidad contiene agua e impurezas desconocidas (Kaewmeesri y cols., 2015). Para calcular el potencial de producción de bioturbosina se considera que el aceite está constituido por 93.3% de triglicéridos y 6.7% de ácidos grasos, y que se suministrará el hidrógeno necesario para llevar a cabo las reacciones de hidrotreamiento; los productos del hidrotreamiento incluyen gases ligeros, agua, nafta, bioturbosina y diésel verde. Considerando 1 119 741.986 toneladas de aceite se obtendrían 755 931 198 litros de bioturbosina al año. De acuerdo con los datos abiertos de aeropuertos y servicios auxiliares (Datos Abiertos de México, 2019), en el país se consumen 4 946 171 381 litros de turbosina al año, por lo que se podría suministrar un 15% de bioturbosina. De manera particular, en el estado de Querétaro, considerando 18 873.6 toneladas de aceite al año, se pueden producir 12 741 420 litros de bioturbosina anualmente. En 2018, en el aeropuerto de Querétaro

se consumieron 54 973 102 litros de turbosina, por lo que se podría abastecer un 23.18% de bioturbosina.

Es importante mencionar que, si bien el costo de las grasas de pollo es reducido, sí hay un costo asociado a su recolección y transporte. Por ello, es preferible realizar la recolección de dichos residuos de manera local, para así minimizar tanto el costo asociado al transporte como a las emisiones de CO₂ derivadas. Otro aspecto destacable es que, de forma adicional a la producción de bioturbosina, en el proceso de hidrotreamiento se generan otros combustibles que pueden comercializarse, como los gases ligeros y naftas para la producción de energía eléctrica, así como el diésel verde para el sector transporte, como reemplazo del diésel fósil.

■ ■ ■ **Conclusiones**

■ El sector de la aviación es uno de los más dinámicos en la actualidad, y los pronósticos indican que se requerirán grandes volúmenes de combustibles para



garantizar su crecimiento económico. Además, para que dicho crecimiento económico sea sostenible, es necesario producir combustibles renovables, conocidos como bioturbosina o queroseno parafínico sintético. La bioturbosina puede producirse a partir de cualquier tipo de biomasa; no obstante, las grasas de pollo representan una materia prima promisoría para esta producción, dado que son residuos que por su acumulación pueden ocasionar problemas de contaminación. Entonces, las grasas de pollo pueden convertirse en bioturbosina mediante el proceso de hidrotratamiento. Si bien la cantidad generada de residuos no es suficiente para abastecer 100% de la demanda nacional de combustible, se puede abastecer hasta 23% de dicha demanda. Asimismo, es una materia prima que, al generarse de manera habitual, permitirá garantizar el establecimiento de la cadena de suministro para la producción de este biocombustible.

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) por el apoyo financiero proporcionado mediante el proyecto 239765. Asimismo, Ana Laura Moreno recibe una beca SENER-Conacyt para la realización de sus estudios de posgrado.

Ana Laura Moreno Gómez

Universidad Autónoma de Querétaro.
ana_lauramx@hotmail.com

Claudia Gutiérrez Antonio

Universidad Autónoma de Querétaro.
claudia.gutierrez@uaq.mx

Fernando Israel Gómez-Castro

Universidad de Guanajuato.
fgomez@ugto.mx

Referencias específicas

- ASTM (2019), "ASTM D7566-19. Standard Specification for Aviation Turbine Fuel Containing Synthesized Hydrocarbons", *ASTM International*. Disponible en: <<https://www.astm.org/Standards/D7566.htm>>, consultado el 2 de marzo de 2021.
- Datos Abiertos de México (2019), "Aeropuertos y Servicios Auxiliares", *Datos Abiertos de México*. Disponible en: <<https://datos.gob.mx/busca/organization/asa>>, consultado el 2 de marzo de 2021.
- Diederichs, G. W. et al. (2016), "Techno-economic comparison of biojet fuel production from lignocellulose, vegetable oil and sugar cane juice", *Biore-source Technology*, 216:331-339.
- Gutiérrez-Antonio, C. et al. (2017), "A review on the production processes of renewable jet fuel", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79:709-729.
- Inegi (2019), "Población", *Instituto Nacional de Estadística y Geografía*. Disponible en: <<https://www.inegi.org.mx/temas/estructura/>>, consultado el 2 de marzo de 2021.
- Kaewmeesri, R. et al. (2015), "Deoxygenation of Waste Chicken Fats to Green Diesel over Ni/Al₂O₃: Effect of Water and Free Fatty Acid Content", *Energy and Fuels*, 29(2): 833-840.
- Pemex (2019), "Estadísticas petroleras - mayo de 2019", *Petróleos Mexicanos*. Disponible en: <<https://www.pemex.com/ri/Publicaciones/Paginas/Indicadores-Petroleros.aspx>>, consultado el 2 de marzo de 2021.
- Unión Nacional de Avicultores (2018), "Indicadores económicos", *Unión Nacional de Avicultores*. Disponible en: <<https://una.org.mx/indicadores-economicos/>>, consultado el 2 de marzo de 2021.
- Wang, W. C. (2016), "Techno-economic analysis of a bio-refinery process for producing Hydro-processed Renewable Jet fuel from Jatropha", *Renewable Energy*, 95: 63-73.
- Zhang, X. et al. (2017), "One-step preparation of biological aviation kerosene by catalytic hydrogenation of waste lard over Pt/SAPO-11", *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 93(1):1-9.