



# Bioturbosina: retos y oportunidades

El agotamiento de las reservas petroleras y el fenómeno conocido como cambio climático están impulsando el estudio y aprovechamiento de fuentes alternas de energía que a futuro posibiliten el desarrollo sostenible de la sociedad. Para la solución de estos problemas, los biocombustibles resultan de gran importancia, concebidos por muchos como una esperanza para la conservación y preservación del medio ambiente, y para lograr al menos una independencia parcial con respecto al uso de combustibles fósiles. El desarrollo de biocombustibles ya forma parte de algunas estrategias gubernamentales de nuestra sociedad; particularmente, el sector de la aviación ha sido promotor y ejecutor de algunas de ellas. En el presente artículo se realiza una recapitulación sobre el tema de la bioturbosina, sus principales formas de obtención, su estatus actual en México, así como los principales retos y oportunidades identificados en cuanto a investigación y desarrollo tecnológico.

Resulta fascinante el hecho de que en la literatura, mucho antes de que existieran los aviones, algunos escritores ya imaginaban naves que en el futuro transportarían al ser humano; tal como lo dice Nostradamus: “las gentes viajarán con seguridad a través del cielo, tierra, mar y ola”, o Julio Verne, en su novela *Robur el conquistador* (1886), donde describe una embarcación –llamada *Albatros*– con muchos mástiles sobre los cuales hay hélices que giran gracias a su maquinaria interna, de manera similar al helicóptero actual. Hoy en día el uso de aeronaves se ha convertido en una necesidad básica para los trayectos de grandes distancias en tiempos reducidos; no obstante, esto ha implicado diversos efectos para el entorno y la sociedad. En este sentido, la concepción de un combustible de



aviación producido a partir de materia prima renovable no está tan fuera de la realidad.

El tema de los biocombustibles recientemente ha sido desarrollado con la intención de lograr al menos una independencia parcial con respecto al uso de los combustibles fósiles. Además se busca reducir el impacto ambiental no sólo con el empleo de biocombustibles, sino a través de todo su ciclo de vida; es decir, desde la obtención de la materia prima, durante su proceso de transformación y hasta su uso final, en la medida de lo posible para cada desarrollo.

Lo anterior concuerda con lo señalado por el expresidente brasileño Luiz Inácio Lula da Silva en la 30ª Conferencia Regional de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), celebrada en Brasil en 2008: “Los biocombustibles desarrollados con criterio, de acuerdo con las realidades de cada país, pueden generar ingresos e inclusión social.” Es importante considerar que aunque una de las limitantes del uso de materias primas renovables

implica otorgar cierta parte de las tierras agrícolas para los cultivos energéticos, es posible realizarlo bajo la supervisión adecuada y aprovechando las oportunidades que se presenten en cada país. De esta manera se ha desarrollado la investigación hacia diferentes biocombustibles; entre ellos, el combustible renovable de aviación o bioturbosina.

La importancia y el interés con respecto a este biocombustible residen en el hecho de que el sector de la aviación aporta el 2% de las emisiones contaminantes generadas por los humanos; este porcentaje representa alrededor de 689 millones de toneladas de dióxido de carbono al año. Si además se considera el aumento poblacional mundial estimado para el año 2019 (9 000 millones de personas), entonces el sector de la aviación podría crecer al menos 5% por encima de la economía mundial, a la par de que aumentarían sus emisiones contaminantes. Asimismo, es importante mencionar que el combustible representa aproximadamente 30% de los costos de una compañía aérea; por ello, las fluc-

tuciones en los precios del petróleo impactan directamente en la rentabilidad de las aerolíneas, así como en la economía de los consumidores. Debido a lo anterior, recientes normatividades mundiales en coordinación con las más grandes compañías de fabricación de aviones, tales como Boeing y Airbus, establecieron que se debía adicionar bioturbosina al combustible convencional de origen fósil (turbosina) en las siguientes cantidades: 1% para el año 2015, 10% para 2017, 15% para 2020, hasta alcanzar 50% en 2050. En México se vende el 2% del combustible aéreo mundial, por lo que se tendría que disponer de 40 millones de litros de bioturbosina para 2015, y 700 millones de litros para 2020. Desafortunadamente, estas cifras no han sido alcanzadas.

### Turbosina y bioturbosina: antecedentes históricos

Desde el primer vuelo de los hermanos Wright hasta los increíbles avances en torno a la aviación durante la Segunda Guerra Mundial, este sector se ha preocupado por innovar tanto los aviones en sí como los combustibles que éstos necesitan. En la Figura 1 se presenta

una línea de tiempo del desarrollo de los combustibles para la aviación.

En 1939, Hans Von Ohain utilizó gasolina como combustible para su avión, debido a que era la única alternativa conocida para esa época. No obstante, la necesidad de encontrar un mercado para los otros productos derivados del petróleo, como el queroseno, marcó la pauta para el desarrollo de la turbosina. En 1944 nació el primer combustible para aviones, identificado como Jet Propellant #1 o JP-1. Éste fue producido para la Fuerza Armada Aérea de Estados Unidos, quienes hicieron la requisición del combustible para un avión de turbina de gas. De cierta manera, fue este combustible el que dio origen a las especificaciones técnicas que actualmente los carburantes de aviación deben cumplir.

Los combustibles de aviación siguieron desarrollándose a partir de ese momento no sólo para la industria militar, sino también para el sector comercial. En 1951 una mezcla de gasolina y fracciones de queroseno conformó la principal característica del combustible JP-4, el cual es operado mediante restricciones de presiones de vapor para reducir las pérdidas por evaporación (Maurice *et al.*, 2001). En 1960 comenzó la expansión de la aviación comercial mediante un combustible



Figura 1. Línea del tiempo del combustible de aviación.

también de queroseno, con el Jet-A para Estados Unidos y el Jet-A1 para el resto del mundo. La diferencia principal entre ambos es su contenido de azufre (el Jet-A1 es ultrabajo en azufre y tiene un menor punto de congelación que el Jet-A). El responsable del desarrollo del combustible comercial fue la organización internacional de estándares llamada ASTM (Maurice *et al.*, 2001).

En la crisis de los años setenta, el Departamento de Energía de Estados Unidos comenzó a patrocinar investigaciones para la búsqueda de combustibles alternativos a los fósiles. Esto, para hacer frente a la preocupación sobre el medio ambiente y el cambio climático, así como para atender las inquietudes por el agotamiento de las reservas petroleras. Otro de los factores que motivó la investigación sobre los combustibles alternativos para el sector de la aviación fue la creciente demanda en el transporte aéreo. A modo de ejemplo, en el año 2000 el consumo de combustibles de aviación fue de 191.1 millones de galones por día y para 2008 fue de 198.3 millones de galones por día (Liu *et al.*, 2013). Resulta evidente entonces la necesidad de buscar un combustible alternativo, acorde a las nuevas demandas en cuestión de sostenibilidad y cambio climático; asimismo, se debe lograr al menos una independencia parcial con respecto del petróleo y sus fluctuaciones económicas.

### **Bioturbosina**

La bioturbosina, biocombustible de turbina o combustible renovable de aviación, denominada técnicamente como bioquerosenos parafínicos sintéticos (BKP o KPS), es un biocombustible sintético conformado por una mezcla de hidrocarburos lineales y ramificados; su densidad energética y sus propiedades físicas se apegan a las características de la turbosina convencional. La similitud en propiedades es de gran importancia, dadas las condiciones extremas de temperatura y presión a las que se somete el combustible durante el vuelo.

La bioturbosina puede ser producida a partir de biomasa, entendida como la materia orgánica de origen vegetal o animal –incluidos los residuos y desechos orgánicos– susceptible de ser aprovechada energéticamente. La biomasa puede ser de primera, segunda o ter-

cera generación. Básicamente, la de primera generación está representada por todos los cultivos susceptibles de usarse en la alimentación humana. En contraparte, la biomasa de segunda generación incluye residuos agrícolas y forestales compuestos principalmente por celulosa, así como aceites de semillas no comestibles, como *jatropha* (piñón), higuera y camelina. Por otra parte, la biomasa de tercera generación está representada por algas y microalgas.

Sin importar la materia prima utilizada, los procesos de producción de bioturbosina deben tener un reducido impacto ambiental asociado, lo cual puede coadyuvar a incrementar su sustentabilidad. El uso del combustible renovable de aviación reduce de manera significativa las emisiones de gases de efecto invernadero, en comparación con la turbosina de origen fósil. Por otra parte, la principal diferencia de la bioturbosina con respecto a la turbosina convencional es la ausencia de componentes aromáticos. Esto provoca que su densidad esté por debajo del mínimo establecido en las especificaciones, con lo cual se podrían ocasionar derrames en el circuito de distribución del combustible. Tales desventajas desaparecen cuando el combustible es utilizado en mezcla con el combustible fósil. Por esta razón, la norma ASTM D7566 establece el uso de mezclas de turbosina fósil con hasta 50% de bioturbosina (edición #16, norma D7566).

Actualmente, la mayoría de las investigaciones respecto a la producción de bioturbosina se ha encaminado a considerar como materia prima a los cultivos energéticos. Éstos deben cumplir con criterios específicos, de modo que la producción del biocombustible no genere impactos negativos, ni ambientales ni socioeconómicos. Algunos de estos criterios incluyen que la materia prima utilizada en la producción de la bioturbosina no debe competir con la alimentación, no debe ser sumidero de fuentes de agua fresca o causar deforestación. Asimismo, la materia prima debe contener semillas con un alto contenido de aceite (por encima del 30% en peso), debe tener tiempos de cosecha relativamente regulares y ser de fácil adaptación a las condiciones climáticas de la zona donde se ha de producir el combustible.

De acuerdo con los criterios anteriores, diversas variedades de *jatropha*, higuera y camelina han sido

consideradas como promisorias para producir bioturbosina en el mundo. La primera posee entre 30 y 40% de contenido de aceite, la segunda, entre 40 y 60% y la tercera, entre 40 y 45%. Además, para su crecimiento no requieren condiciones especiales ni elevadas cantidades de agua (600-800 mm c. d. a. anuales), y son fácilmente adaptables.

En este contexto, y de acuerdo con las políticas públicas de cada país, en el mundo se han considerado extensiones de terreno que se encuentran desaprovechadas pero que podrían ser promisorias para la siembra de cultivos energéticos; por supuesto, debe evitarse la competencia con aquéllos dedicados a la alimentación. Todo esto ayudaría además a aumentar la competitividad y rentabilidad del campo. En México, en 2014 el director de Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA), Gilberto López Meyer, destacó que en todo el país existen entre 50 000 y 100 000 hectáreas sembradas de jatropha, las cuales están orientadas a la producción del aceite vegetal para producir bioturbosina, sin que éstas perjudiquen las siembras para cultivos alimenticios.

### Procesos de producción de bioturbosina

De manera general, existen dos principales rutas para la obtención de bioturbosina a partir de biomasa como materia prima. La primera emplea biomasa sólida que es gasificada para obtener un gas sintético conocido como *syngas*, el cual se somete a un proceso tipo Fischer-Tropsch, para obtener con este paso los KPS. Por otra parte, la segunda ruta considera la transformación de aceites vegetales o grasas animales sometidos a un tratamiento químico mediante el cual se rompen las moléculas de triglicérido, se reduce así el tamaño de las cadenas de hidrocarburos resultantes para obtener los KPS. Para ambos casos, es necesario llevar a cabo la refinación de la bioturbosina.

Actualmente en el mundo existen cinco procesos para la obtención de turbosina renovable. Cada uno de ellos posee un determinado grado de avance, así como ventajas y desventajas asociadas con el tipo de materia prima y con la forma de procesarla. En la Tabla 1 se presentan dichos procesos y un resumen de sus características más importantes. De todos ellos, el proceso

de hidrotratamiento es el que presenta mayor grado de avance; además, la bioturbosina obtenida mediante este proceso se encuentra certificada ante la ASTM desde el 11 de julio de 2011. Todos los procesos mostrados en la Tabla 1 permiten obtener bioturbosina y presentan la posibilidad de ser integrados energéticamente para disminuir los costos relacionados con su operación, así como el impacto ambiental asociado; esto es posible a través de estrategias de intensificación de procesos. Desde 2011, México ha apostado hacia el proceso de hidrotratamiento y ha suministrado bioturbosina producida por UOP Honeywell a partir de materia prima cosechada en el país.

### México y la bioturbosina

En nuestro país se consumen anualmente alrededor de 3 200 millones de litros de turbosina fósil, los cuales se distribuyen en 62 aeropuertos. En la mayoría de éstos se cuenta con vuelos internacionales, los cuales están sujetos a políticas establecidas por otros países. Por ejemplo, a partir de 2016 la Unión Europea no permitirá el aterrizaje de aviones que no utilicen una mezcla de bioturbosina y turbosina; esto conlleva a que aquellos países que no puedan cumplir con tal requerimiento queden fuera de ruta. Dichas políticas podrían afectar al mercado mexicano en caso de no disponer del biocombustible, por lo que resulta de vital importancia el impulso al establecimiento de la cadena de suministro de bioturbosina en México.



Tomada de: <http://www.el-periodico.com.mx/noticias/wp-content/uploads/2014/10/Bioturbosina-2.jpg>

**Tabla 1.** Procesos de producción de bioturbosina

Desarrollador	Proceso	Etapas del proceso	Productos	Ventajas
North Carolina University y Diversified Energy Corporation	Centia	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hidrólisis</li> <li>• Decarboxilación</li> <li>• Isomerización/craqueo</li> <li>• Refinación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nafta</li> <li>• LPG</li> <li>• Bioturbosina</li> <li>• Diésel verde</li> </ul>	Bajo consumo de hidrógeno, ya que sólo se requiere para la etapa de isomerización y craqueo. Es flexible para transformar varios tipos de aceites vegetales y grasas animales.
Fraunhofer Institute for Environmental, Safety and Energy Technology	Greasoline	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vaporización/decarboxilación</li> <li>• Refinación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• LPG</li> <li>• Gasolina</li> <li>• Queroseno</li> <li>• Diésel verde</li> </ul>	Baja presión requerida para la operación, y bajo consumo de hidrógeno, catalizador de costo relativamente bajo; sin embargo, la bioturbosina no es el producto principal.
Syntroleum	Bio-synfining	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hidrotratamiento</li> <li>• Craqueo</li> <li>• Refinación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nafta</li> <li>• Bioturbosina</li> <li>• Diésel verde</li> </ul>	Similar al proceso de hidrotratamiento de UOP Honeywell, pero su principal producto es el diésel verde.
Sasol	Fischer-Tropsch	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gasificación</li> <li>• Síntesis de Fischer-Tropsch</li> <li>• Hidrotratamiento</li> <li>• Hidrocraqueo</li> <li>• Refinación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nafta</li> <li>• LPG</li> <li>• Bioturbosina</li> <li>• Diésel verde</li> </ul>	Se puede aprovechar todo tipo de biomasa. También puede ser utilizado en combinaciones de biomasa con carbón.
UOP Honeywell	Hidrotratamiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hidrotratamiento</li> <li>• Craqueo/isomerización</li> <li>• Refinación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nafta</li> <li>• LPG</li> <li>• Bioturbosina</li> <li>• Diésel verde</li> </ul>	El proceso tiene la flexibilidad para utilizar diferentes aceites vegetales o grasas animales. Es similar a los procesos de refinación de la industria petrolera. Es posible obtener rendimientos hacia bioturbosina de hasta 36 por ciento.

La producción de combustible de aviación renovable en nuestro país aún se encuentra en etapa de desarrollo. Actualmente, existen proyectos denominados Plan de Vuelo, liderados por ASA, que tienen el objetivo de identificar las rutas para la producción sustentable de combustibles de aviación para cada región del país. A través de ellos, el 1 de abril de 2011 se llevó a cabo el primer vuelo con bioturbosina en México, con 120 pasajeros a bordo de la aeronave *Ecojet* (un Airbus A320-214 de la línea Interjet). Para esto fueron requeridos 2 340 litros de bioturbosina, los cuales representan 27% de combustible renovable. El combustible fue suministrado por ASA y producido mediante la tecnología de hidrotratamiento; la materia prima fue aceite vegetal de *Jatropha curcas*, de cultivos de Chiapas, Yucatán, Michoacán y Puebla. Este vuelo fue el séptimo a nivel mundial en su categoría y el segundo en Latinoamérica. Otro hito en la historia de la aviación fue el primer vuelo transoceánico comercial con biocombustible, el cual partió del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México con destino a Madrid, España, el 1 de agosto de 2011. El combustible, también suministrado por ASA, contenía 25% de bioturbosina y su dinámica de producción fue la misma que para el primer vuelo.

## Retos y oportunidades

En México existen pocos trabajos de investigación y desarrollo enfocados en procesos de producción de bioturbosina. Los grupos científicos han tomado dos direcciones: la primera se aboca a la búsqueda de catalizadores eficientes con alta selectividad hacia bioturbosina; mientras que la segunda pretende disminuir el consumo energético durante el proceso mediante la intensificación de procesos (estrategias que permiten reducir el tamaño de los equipos, integrar procesos y hacerlos más eficientes) y la integración energética (estrategia para el aprovechamiento de la energía disponible en el proceso para enfriar o calentar otras corrientes del mismo proceso) como herramienta. Las oportunidades son vastas en el área, por lo que se vislumbran aportaciones importantes de la ciencia mexicana.

La bioturbosina es el combustible renovable promisorio para reemplazar al menos parcialmente a la turbosina de origen fósil, y tiene el potencial de reducir el impacto ambiental de la industria de la aviación. Sin embargo, su costo es alto en comparación con el de la turbosina convencional. Es por ello necesario encontrar alternativas para reducir los costos de su producción. Con esta revisión de la situación actual y del

estado del arte de la bioturbosina se tienen los elementos para conocer cuál es la motivación para trabajar en el tema, con respecto a sus procesos productivos y sus principales limitantes, las cuales constituyen una oportunidad para el desarrollo de procesos sustentables de producción del combustible renovable de aviación.

**Araceli Romero Izquierdo** es Ingeniero Químico por la Universidad de Guanajuato y se recibió de Maestra en Ingeniería Química en 2015 por la misma universidad, donde actualmente estudia el Doctorado en Ciencias de Ingeniería Química. Realizó su tesis de posgrado en procesos intensificados de producción de bioturbosina. Es fundadora de la empresa GEMAR, dedicada a la consultoría de proyectos asociados con el medio ambiente y mejoras de procesos en el sector industrial.  
irga9912@gmail.com

**Alejandra Gómez De la Cruz** es estudiante e investigador del programa de Maestría en Ciencias de la Energía de la Universidad Autónoma de Querétaro. Recibió su título de Ingeniero Químico por el Instituto Tecnológico de Ciudad Madero. Realizó su estancia de investigación en la Universidad de Purdue, Indiana, trabajando en la investigación de cinéticas experimentales del proceso de producción de bioturbosina.  
Alejandra\_gc23@hotmail.com

**Claudia Gutiérrez-Antonio** es profesora investigadora de los programas de Maestría y Doctorado en Ciencias de la Energía de la Facultad de Química de la Universidad Autónoma de Querétaro. Obtuvo sus títulos de Maestría y Doctorado en Ciencias de Ingeniería Química por el Instituto Tecnológico de Celaya. Perteneció al Sistema Nacional de Investigadores, nivel I. Su línea de investigación versa sobre procesos de separación intensificados y trabaja actualmente en procesos de producción de biocombustibles. En 2013 su biografía fue incluida en el *30th Pearl Anniversary Edition* de *Who's Who in the World*.  
claudia.gutierrez@uaq.mx

## Agradecimientos

Se agradece el apoyo económico brindado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología a través del proyecto 239765, así como las becas de manutención de Araceli Romero y Alejandra Gómez para la realización de este trabajo.

## Lecturas recomendadas

- ASTM International (2015), *ASTM D7566-15, Standard Specification for Aviation Turbine Fuel Containing Synthesized Hydrocarbons*, West Conshohocken, ASTM International.
- Cavallo, A. J. (2004), "Hubbert's Petroleum Production Model: An Evaluation and Implications for World Oil Production Forecasts", *Natural Resources Research*, 13(4):211.
- Furimsky, E. (2013), "Hydroprocessing challenges in bio-fuels production. Review", *Catalysis Today*, 217:13-56.
- Liu, G., B. Yan y G. Chen (2013), "Technical review on jet fuel production", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25:59-70.
- Maurice, L. Q., H. Lander, T. Edwards y W. Harrison (2001), "Advanced aviation fuels: a look ahead via a historical perspective", *Fuel*, 80(5):747-756.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2009-2012), *Programa de Producción Sustentable de Insumos para Bioenergéticos y de Desarrollo Científico y Tecnológico*, México, Sagarpa.
- Sepúlveda González, I. (2012), "Bioturbosina. Producción de cultivos energéticos para la aviación comercial", *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(3). Disponible en: <[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342012000300013](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342012000300013)>, consultado el 3 de junio de 2016.