



Del suelo mexicano a las nubes: panorama de la bioturbosina en México

From Mexican soil to the clouds: an overview of bioturbosine in Mexico

Recursos Naturales y Sociedad, 2024. Vol. 10 (2): 65-75. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2024.10.10.02.0006>

Elizabeth Ibarra Lizárraga¹, David U. Santos Ballardo^{2,3}, Dulce L. Ambriz Pérez^{2,4}.

¹Maestría en Ciencias Aplicadas, Universidad Politécnica de Sinaloa, México.

²Ingeniería en Energía, Maestría en Ciencias Aplicadas, Universidad Politécnica de Sinaloa, México.

³Laboratorio de Ecotoxicología, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD) Unidad Mazatlán.

⁴Estancias Postdoctorales por México 2022, CONAHCYT, México.

*dambriz@upsin.edu.mx



Resumen

Los combustibles aéreos son perjudiciales para el medio ambiente e incluso para la salud, además de que generan una gran cantidad de gases de efecto invernadero. Se ha considerado que la aviación contribuye al calentamiento global alrededor de un 5%, y ha emitido más de 32 mil millones de toneladas de CO₂ al ambiente, por lo que se han buscado alternativas para mitigar dicho impacto ambiental. Una de las alternativas prometedoras ha sido el desarrollo de la *bioturbosina*, un biocombustible que cumple con las mismas especificaciones técnicas que la turbosina convencional, pero con una menor huella de carbono. Este bioenergético se genera a partir de distintos procesos que transforman a la biomasa (materia orgánica), que puede provenir de origen animal, vegetal o incluso de residuos urbanos o industriales. En este sentido, México también ha sido participe de la transición energética, promoviendo la investigación para el desarrollo de *bioturbosina* a partir de la materia orgánica disponible en la región y promoviendo la utilización de *bioturbosina* por parte de aerolíneas mexicanas. Si bien, el futuro de la *bioturbosina* en México es incierto, hay que destacar el hecho de que México cuenta con gran potencial para la generación de este biocombustible, desde los recursos naturales, hasta el desarrollo de investigación nacional. En este artículo se describen aspectos claves para entender el “viaje” de la *bioturbosina* en nuestro país.

Palabras clave: Biocombustibles, Energías renovables, aeronaves.

Abstract

Aviation fuels are considered as harmful to the environment and health; besides, its use is related to a large amount of greenhouse

gases generation (GHG). It has been reported that the aviation sector is responsible for almost 5% of the global warming recorded in the world and, this sector has emitted more than 32 billion of CO₂ tons to the environment. Due to this, different alternatives have been proposed to mitigate this impact. One of these alternatives with great interest is the development of biojet, fuel that presents the same technical specifications as the conventional jet fuel, but with a lower carbon footprint. This bioenergetic product could be generated from different processes related with biomass (organic matter) transformation, with possibility of use materials from animal, plants or even urban or industrial wastes. In this sense, Mexico has entered into an energy transition, promoting research for biojet fuel development from organic matter regionally available and also promoting the use of biojet fuel by Mexican airlines. Although the future of biojet fuel in Mexico is still uncertain,

it is important to highlight that Mexico shows great potential for the generation of this biofuel, including natural resources (as feedstock) and scientific resources. This article describes some key aspects to understand the “journey” of biojet fuel in our country.

Key words: Biofuels, Renewable energy, airplanes.

Introducción

Desde niños estamos maravillados con la posibilidad de volar, algunos de nosotros observábamos fijamente a insectos voladores y aves, esperando entender cómo es que podían volar; otros nos tendíamos en el césped esperando ver pasar aviones e imaginábamos cuál pudiera ser su destino; incluso desde antes, nuestros padres atraían nuestra atención de esta manera para alimentarnos: “ahí viene un avión”. Y es que, gracias a la globalización, el transporte aéreo se ha vuelto algo cotidiano y más accesible, ya sea para trasladarnos o para el envío de nuestras compras. Sin embargo, esta multiplicación de vuelos ha traído consecuencias al medio ambiente, con la posible contribución al cambio climático. Debido a esto, diversos grupos de científicos han desarrollado un biocombustible llamado *bioturbosina*, el origen de los biocombustibles viene de la materia orgánica recientemente viva, por lo que representan una alternativa más amigable con el planeta. La *bioturbosina* es cada vez más empleada en el mundo, y México no es la excepción, nuestro país ha participado activamente en el desarrollo de este interesante producto energético, y es de lo que hablaremos a continuación.

Antecedentes

Combustible para aeronaves

Dependiendo del tipo de aeronave, se pueden utilizar diferentes tipos de combustibles, por ejemplo, los aviones de combate por

lo general usan JP-5 y JP-8, mientras que la mayoría de aviones comerciales y privados, así como los helicópteros, usan Jet A, mejor conocido como turbosina, siendo este último el más utilizado. Los tres tipos de combustible (JP-5, JP-8 y Jet A) son una mezcla de diferentes hidrocarburos, o sea, que contienen solamente carbono e hidrógeno; estos compuestos son derivados del petróleo crudo (ATSDR, 2017).

Aunque estos combustibles han sido utilizados por décadas, se ha determinado que son perjudiciales para el medio ambiente e incluso para la salud, ya que algunos de sus componentes pueden movilizarse lentamente del suelo al agua subterránea, lo que tiene un impacto negativo sobre el agua de consumo humano y animal, agua de riego, sembradíos y suelos agrícolas. Otros compuestos se adhieren a partículas en el agua y se depositan en el sedimento del fondo, donde pueden permanecer por décadas. Si bien estos



riesgos pueden afectar la salud solo de la población que trabaja directamente con ellos, que bebe o nada en agua contaminada o que vive cerca de donde se vierten los residuos, no dejan de ser alarmantes; sin embargo, su mayor impacto ambiental radica en la generación de gases de efecto invernadero (GEI) (ATSDR, 2017).

Relación de la aviación con los GEI y el cambio climático

Los GEI son gases que se encuentran en la atmósfera, ya sean de origen natural o antropogénico (resultantes de la actividad humana), que absorben y emiten radiación infrarroja, lo que causa el famoso efecto invernadero. El efecto invernadero es un fenómeno de regulación de la temperatura del planeta, gracias a los gases atmosféricos se incrementa la temperatura de este.

Dicha regulación es necesaria, ya que sin ella prevalecerían temperaturas frías o incluso bajo cero. El problema surge cuando cambia y/o aumenta la concentración de estos gases, provocando el cambio climático. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático reconoce seis GEI: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF_6), siendo el CO_2 el más importante, ya que la producción de éste está altamente relacionada con el uso de combustibles fósiles (CCPY, s.f.).

Al respecto, diversos grupos de científicos han estudiado la contribución del sector de la aviación al cambio climático, estimando que es responsable de aproximadamente el 4.9% del calentamiento global creado por el hombre, y que desde que inició en 1940, hasta el 2018, ha generado 32.6 mil millones de toneladas de CO_2 , de las cuales más de la mitad se generaron en los últimos 20 años debido al incremento de vuelos (EN, 2019).

¿La bioturbosina podría ser la respuesta?

Para mitigar el impacto ambiental de la aviación, los gobiernos

de varios países han propuesto distintas alternativas. Una de las más populares es la propuesta de la Unión Europea, que plantea aumentar los impuestos a la actividad de la aviación debido a su alta contaminación, principalmente en el tema de combustibles.

Otras alternativas son el desarrollo de combustibles y motores más eficientes, así como la promoción del uso de combustibles alternativos que tengan una menor huella de carbono (Fig.1), como es la *bioturbosina*. Sea cual fuere la respuesta, deben tomarse medidas urgentes, ya que de acuerdo con la Agencia Europea de Seguridad Aérea (EASA por sus siglas en inglés), el aumento del transporte provocará que en 2040 las emisiones de CO_2 y N_2O aumenten, al menos, un 21% y un 16% respectivamente (elperiodicodelaenergia.com, 2019).

De acuerdo con lo anterior, destaca como alternativa la *bioturbosina*.

Este biocombustible proviene de la biomasa, es decir, de origen orgánico. Su nombre técnico es mezcla de bioquerosenos parafínicos sintéticos (bkp o kps), y está conformada por una mezcla de hidrocarburos lineales y ramificados. La *bioturbosina* cumple con las mismas especificaciones técnicas que la turbosina convencional y por ello pueden mezclarse con ésta de manera segura. 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* cumple particularmente con la especificación de resistencia al frío y alto contenido energético, además, que dichas características permiten que pueda ser utilizada por los mismos motores (Romero-Izquierdo y col., 2016; IATA, 2016).

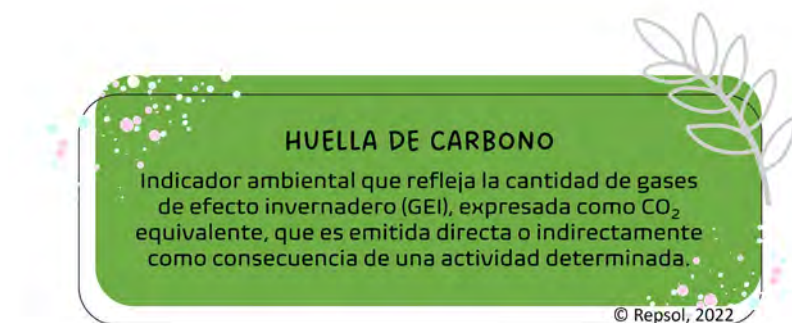


Figura 1. Concepto de la huella de carbono.

Otra cuestión interesante de la *bioturbosina* es que puede ser producida a partir de materia orgánica de origen animal o vegetal, lo que ofrece una vasta gama de opciones, permitiendo aprovechar incluso cualquier tipo de residuo orgánico rico en lípidos o lignocelulosa. Además, el hecho de aprovechar los residuos permite disminuir considerablemente la huella de carbono de la *bioturbosina*, si a esto le sumamos que se produzca a partir de organismos fotosintéticos como plantas, macroalgas y microalgas, que durante su formación estuvieron consumiendo CO₂ ambiental, el impacto en el descenso de la huella de carbono es notable, con respecto a la turbosina convencional (Romero-Izquierdo y col., 2016).

Por otro lado, existen varios procesos para la obtención de *bioturbosina*, dependiendo de la composición de la materia prima. Por ejemplo, los triglicéridos pueden convertirse en hidrocarburos renovables mediante hidrodeoxygenación, hidroisomerización e hidrocrackeo. Los azúcares y almidones pueden fermentarse para producir alcohol, que posteriormente se somete a reacciones de oligomerización, crackeo e isomerización para producir hidrocarburos renovables. Mientras que, los materiales lignocelulósicos pueden someterse a un proceso de pirólisis para obtener un bioaceite que es hidrotratado, o bien gasificarse 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. En todos los casos, los productos deben pasar por un proceso de refinación o purificación a través de columnas de destilación (Fig. 2) (Gutiérrez y col., 2022).



Se ha reportado que el uso de la *bioturbosina* se ha extendido, sobre todo por los compromisos ambientales que han establecido las naciones en el acuerdo de París (un tratado internacional firmado en el 2015, del que México forma parte), donde algunos líderes mundiales se comprometieron a disminuir sustancialmente las emisiones de gases de efecto invernadero que emiten sus países (Naciones Unidas, s.f.). Para cumplir con tal objetivo, se comprometieron múltiples acciones, entre ellas establecer normativas que dictaban 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. Sin embargo, estas cifras no han sido alcanzadas al día de hoy (Romero-Izquierdo y col., 2016; Gutiérrez y col., 2022).

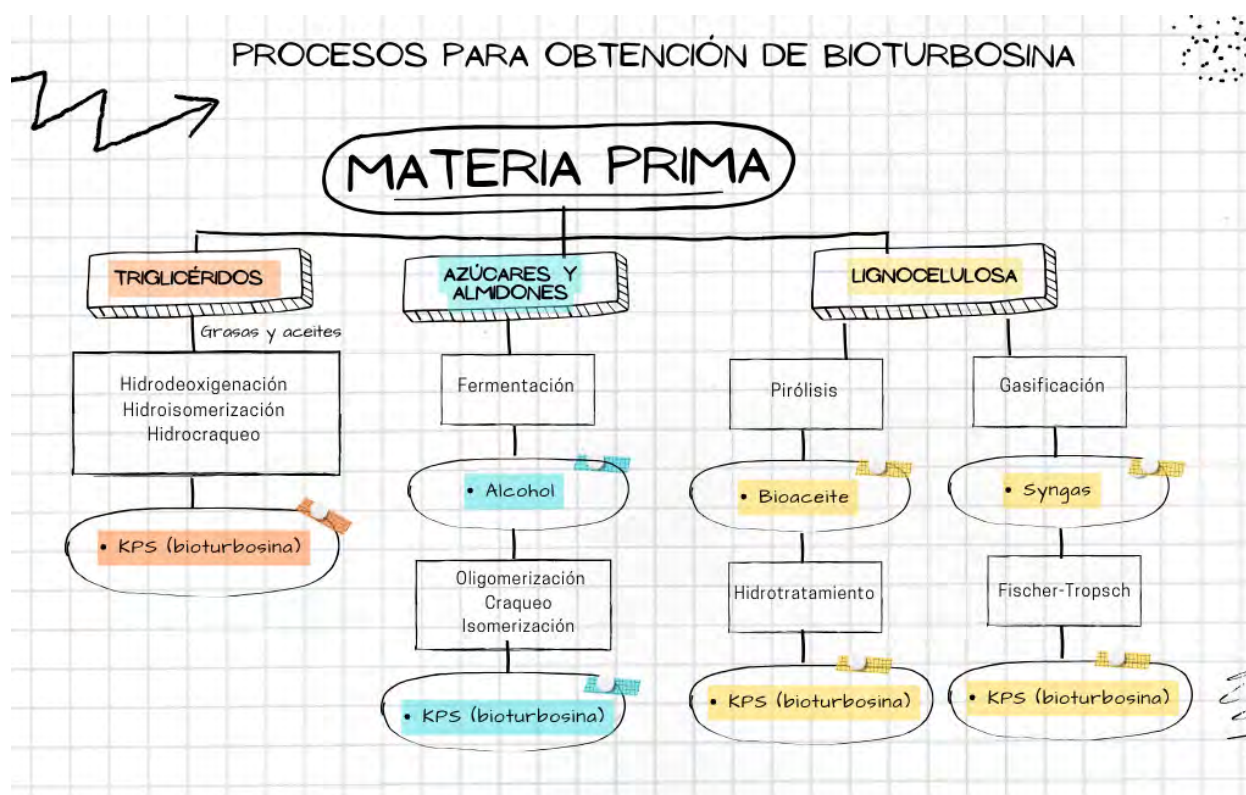


Figura 2. Procesos de obtención de bioturbosina dependiendo la materia prima. (Elaboración propia).

México y la bioturbosina

Anualmente, en México se consumen aproximadamente 3,200 millones de litros de turbosina fósil, distribuidos en 62 aeropuertos del país. Esto resalta la importancia de desarrollar alternativas sostenibles como la *bioturbosina* para reducir la dependencia de combustibles fósiles y mitigar el impacto ambiental de la aviación.

México resulta atractivo para la producción de biocombustibles debido a su vasta extensión territorial, disponibilidad de superficie agrícola, clima favorable, amplia población joven y un marco jurídico que permite la producción y comercialización de bioenergéticos (Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos) (SAGARPA, 2017). Estos elementos son esenciales para la producción de biomasa, y aceites necesarios para biodiesel y *bioturbosina*. Mientras que en otros países se cultivan diversas plantas no comestibles productoras de aceite, México se ha centrado principalmente en la *jatropha* y la higuera. La *jatropha*, en particular, ha mostrado un gran potencial debido a su capacidad para crecer y producir aceites de alta calidad para biocombustibles. En 2014, se reportaron entre 50,000 y 100,000 hectáreas sembradas con *jatropha* en todo el país, orientadas a la producción de aceite vegetal para *bioturbosina*, sin afectar los cultivos alimenticios (González, 2012; Romero-Izquierdo y col., 2016).

Por otro lado, las microalgas productoras de aceite han adquirido especial relevancia en México. Las microalgas son una fuente prometedora debido a su rápido crecimiento y alto contenido de lípidos, lo que las convierte en una materia prima eficiente y sostenible para la producción de *bioturbosina*.

Estos microorganismos pueden cultivarse en diversas condiciones, incluidas áreas costeras y desérticas, lo que amplía las posibilidades de producción en diferentes regiones del país (González, 2012).

México está avanzando hacia una transición energética con el objetivo principal de aumentar la participación de energías limpias y diversificar la matriz energética, esto para lograr un sector sostenible y con menor dependencia de los combustibles fósiles. Por ello, la Ley de Transición Energética establece que para el año 2024, la participación mínima de energías limpias en la generación de electricidad debería ser del 35% (DOF, 2015).

Una muestra del gran potencial y avance en México es el primer vuelo demostrativo llevado a cabo por una aerolínea comercial con *bioturbosina*. Este histórico vuelo se registró el 01 de abril de 2011, realizado por la aerolínea Interjet^{MR} en un Airbus A320-214 conocido como Ecojet, transportó a 120 pasajeros desde la Ciudad de México con destino a Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Para este vuelo se utilizó *bioturbosina* en un 27% del total de combustible del avión. El biocombustible fue suministrado por Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA) y producido mediante tecnología de hidrotratamiento, utilizando aceite vegetal de *Jatropha curcas* producido en nuestro país en Chiapas, Yucatán, Michoacán y Puebla. Este vuelo fue el séptimo en su categoría a nivel mundial (Romero-Izquierdo y col., 2016). Meses más tarde, el 01 de agosto de 2011, se realizó el primer “vuelo verde” comercial trans-oceánico de Aeroméxico^{MR},

utilizando *bioturbosina* en un 30% del combustible total empleado. En este vuelo, la aeronave fue un Boeing 777-200ER en la ruta México-Madrid. Este logro se realizó de manera conjunta por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA), Aeroméxico^{MR} y Boeing^{MR}.

El entonces Secretario de Energía, José Antonio Meade, explicó que el uso de materiales ligeros durante los vuelos representa beneficios tanto económicos como ecológicos, donde mencionó “cada minuto de eficiencia que se reduce en vuelo, se dejan de emitir 100 kilogramos de dióxido de carbono” (revistafortuna.com, 2011). Un ejemplo ilustrativo se puede ver en la Fig.3. donde se muestran varios de los esfuerzos que se han realizado en México para una transición energética en temas de aviación.



Figura 3. Vuelos operados con bioturbosina en México. Adaptado de Mar, 2021.

Estos logros subrayan el compromiso de México con la innovación y la sostenibilidad en la aviación, posicionándose como un líder en la adopción de biocombustibles para reducir la huella de carbono de la industria aérea. Sin embargo, no hay reportes oficiales del uso de *bioturbosina* en vuelos comerciales más allá del año 2012, por lo que el futuro de la *bioturbosina* en México ha sido incierto y controversial (Mar, 2021).

A pesar de lo anterior, México ha sido perseverante en cuanto a esfuerzos en este sentido. Como ejemplo, en el año 2016 hubo un acuerdo entre Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA), Aeroméxico^{MR}, el Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPICYT) y Boeing^{MR}, apoyados por el fondo sectorial del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y la

Secretaría de Energía (SENER) con el fin de investigar y desarrollar Bio Jet sostenible en México (Mar, 2021). A la fecha, científicos mexicanos de 14 instituciones diferentes a lo largo del país, han creado un consorcio de investigación y desarrollo para la producción de aceites vegetales como materia prima para la elaboración de *bioturbosina* (México Ambiental, 2018). Por otro lado, distintos centros de investigación nacionales siguen apostando al desarrollo de la *bioturbosina* de diversas fuentes como jatropha, higuera, moringa y cebo de res, entre otras; tal es el caso del Instituto Politécnico Nacional (IPN) que obtuvo el primer lugar en el Concurso Sustainable Aviation Fuels México 2023, organizado en el marco de la Feria Aeroespacial México, en dicha ocasión uno de los científicos que encabezaron el equipo de trabajo, el Dr. Rogelio Sotelo Boyás, declaró: “El fin del IPN es lograr combustibles renovables, mostrar su potencial para un mundo sin contaminación; queremos impulsar un mercado de *bioturbosina* en México para que los aviones puedan operar con cierto porcentaje de combustible renovable y contribuir de este modo a uno de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU” (Vértigo político, 2023).

Consideraciones finales y perspectiva

La *bioturbosina* representa una solución viable y necesaria para enfrentar los retos ambientales del sector aéreo.

Este biocombustible ofrece una alternativa sostenible a los combustibles fósiles tradicionales, contribuyendo a un futuro más limpio y responsable en la aviación. México está en una posición privilegiada para desarrollar la *bioturbosina*, gracias a sus abundantes recursos naturales, científicos y marco jurídico. La colaboración entre el sector público, la industria y la academia será esencial para superar los desafíos y aprovechar plenamente el potencial de la *bioturbosina* como una solución sostenible para la aviación. La consolidación de esta industria en México no solo ayudará a reducir la dependencia de combustibles fósiles, sino que también posicionará al país entre uno de los líderes en innovación y sustentabilidad en el sector aéreo. El éxito en el desarrollo y adopción de la *bioturbosina* en México dependerá de la capacidad para superar desafíos técnicos y económicos, así como del continuo apoyo de políticas públicas y colaboraciones internacionales. La inversión en el desarrollo de investigación es crucial para optimizar los procesos de producción, y la reducción de costos, allanando el camino hacia una aviación más sostenible.



Literatura citada

- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR), 2017. *ToxFAQs™ - Combustibles de aviones a reacción JP-5 y JP-8 (Jet Fuels JP-5 and JP-8)*. En: https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts121.html (Consultado el 29/06/2024).
- Diario Oficial de la Federación, 2015. *Ley de Transición Energética*. En: <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LTE.pdf> (Consultado el 29/06/2024).
- elperiodicodelaenergia.com, 2019. *Las emisiones de CO₂ del sector de la aviación crecerán un 21% hasta 2040*. En: <https://elperiodicodelaenergia.com/las-emisiones-de-co2-del-sector-de-la-aviacion-creceran-un-21-hasta-2040/> (Consultado el 29/06/2024).
- EnergyNews (EN), 2019. *Si la aviación fuera un país, estaría en el top 10 de contaminantes*. En: <https://www.energynews.es/contaminacion-aviacion/> (Consultado el 29/06/2024).
- Estrategias para el cambio climático Península de Yucatán (CCPY), s.f. *Gases de efecto invernadero*. En: <http://www.ccpy.gob.mx/cambio-climatico/gases-efecto-invernadero.php> (Consultado el 29/06/2024).
- González, I. S., 2012. *Bioturbosina*. Producción de cultivos energéticos para la aviación comercial. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(3), 579-594.
- Gutiérrez Antonio C., Caltzontzin Rabell V., Sánchez Estrada M. D. L. L., Chávez Jaime, Feregrino Pérez A. A., García Trejo J. F., 2022. Diseño de una biorrefinería para la obtención de combustible renovable de aviación a partir de microalgas, PCT, vol. 5. En: <https://revistas.uaq.mx/index.php/perspectivas/article/view/924https://www.un.org/es/climatechange/paris-agreement>. (Consultado el 29/06/2024).
- IATA. (2016). *Fact Sheet: Alternative Fuels*. En: https://www.iata.org/pressroom/facts_figures/fact_sheets/Documents/fact-sheet-alternative-fuels.pdf
- Mar Juárez E., 2021. *Mapa de ruta bio jet en México: construcción, análisis y puntos de reflexión*. CIENCIA ergo-sum, *Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*, vol. 28, núm. 1, noviembre 2020-febrero 2021.
- México ambiental, 2018. *Científicos mexicanos crean consorcio científico para producir a escala comercial bioturbosina*. En: <https://www.mexicoambiental.com/cientificos-mexicanos-crean-consorcio-cientifico-para-producir-a-escala-comercial-bioturbosina/> (Consultado el 04/07/2024).
- Naciones Unidas, s.f. El Acuerdo de París. En: <https://www.un.org/es/climatechange/paris-agreement> (Consultado el 29/06/2024).

REPSOL. s.f. *¿Qué es la huella de carbono y por qué es importante?* En: <https://www.repsol.com/es/sostenibilidad/cambio-climatico/reduccion-huella-carbono/index.cshtml> (Consultado el 29/06/2024).

revistafortuna.com, 2011. *Aeroméxico: primer “vuelo verde” transoceánico con bioturbosina*. En: <https://revistafortuna.com.mx/2011/08/04/aeromexico-primer-%E2%80%9Cvuelo-verde%E2%80%9D-transoceanico-con-bioturbosina/#:~:text=Aerom%C3%A9xico%3A%20primer%20%E2%80%9Cvuelo%20verde%E2%80%9D%20transoce%C3%A1nico%20con%20bioturbosina,-Por&text=Veintis%C3%A9is%20mil%20litros%20de%20bioturbosina,verde%E2%80%9D%20comercial%20transoce%C3%A1nico%20de%20Aerom%C3%A9xico> (Consultado el 29/06/2024).

Romero Izquierdo, A., Gómez De la Cruz, A., Gutiérrez-Antonio C., 2016. *Bioturbosina: retos y oportunidades*. En: <https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/online/Bioturbosina.pdf> (Consultado 29/01/24).

SAGARPA, 2017. *Bioenergéticos: higuera, jatropha curcas, sorgo dulce mexicanos*. In Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.

Vértigo político, 2023. *Crean bioturbosina verde*. En: <https://www.vertigopolitico.com/columnas/notas/bioturbosina-verde> (Consultado el 04/07/2024).

Cita

Ibarra Lizárraga, E., D.U. Santos Ballardo, D.L. Ambríz Pérez. Del suelo mexicano a las nubes: panorama de la bioturbosina en México. **Recursos Naturales y Sociedad, 2024. Vol. 10 (2): 65-75.** <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2024.10.10.02.0006>

Sometido: 4 de julio de 2024

Aceptado: 17 de septiembre de 2024

Editor asociado: Dr. Arturo Sánchez Paz

Editor ejecutivo: Dr. Arturo Sánchez Paz

Diseño gráfico editorial: Lic. Gerardo Hernández

Fotos portada: pexels-pixabay-40024.jpg; pexels-pixabay-46148.jpg