

# Bianálisis de la situación actual y prospectiva de los biocombustibles en México

## Bianalysis of the current and prospective situation of biofuels in Mexico

Luis Ángel Alamilla-Escamilla<sup>1</sup> & Juan Manuel Rivera-Ramírez<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Escuela Superior de Apan-Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH). Carretera Apan-Calputalpan s/n, Colonia, 43920 Chimalpa Tlalayote, Hgo. México.

<sup>2</sup> Escuela Superior de Apan-Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH).

Recibido 10 febrero 2024, recibido en forma revisada 10 abril 2024, aceptado 10 de mayo 2024, en línea 30 de junio 2024.

### Resumen

Los biocombustibles son definidos como carburantes provenientes de materia orgánica como la biomasa y residuos orgánicos los cuales son aprovechables como combustibles en los motores de combustión interna; están clasificados en primera, segunda, tercera y cuarta generación, esto de acuerdo con la materia prima de la cual provienen y de las técnicas empleadas para su obtención. Una de las principales ventajas es que se catalogan dentro de las energías renovables y las de menor emisión de gases de efecto invernadero (GEI) al ambiente, sin embargo, una desventaja es el costo de la infraestructura para su producción. El objetivo de la presente investigación fue generar un estado del arte a través de motores de búsqueda convencionales, así como académicos para determinar y analizar el contexto actual en México en relación con el uso y producción de biocombustibles. Los resultados indican una escasa elaboración que se mantiene a la par de las ventas; al realizar un análisis de las causas de estos bajos niveles, resaltan las licitaciones fallidas, las cuales tenían como objetivo introducir alcohol etílico anhidro en las gasolinas que comercializa la paraestatal Petróleos Mexicanos (PEMEX), por ello se ha determinado que las acciones necesarias para invertir la situación dependen de las autoridades competentes como la cámara de diputados, los inversionistas y un cambio sustancial en las políticas energéticas mexicanas.

**Palabras clave:** Biomasa, Combustible, Diesel, Residuo.

### Abstract

Biofuels are defined as fuels from organic matter such as biomass and organic waste which can be used as fuel in internal combustion engines; They are classified into first, second, third and fourth generation, according to the raw material from which they come and the techniques used to obtain them. One of the main advantages is that they are classified as renewable energies and those with the lowest emission of greenhouse gases (GHG) into the environment; however, a disadvantage is the cost of the infrastructure for their production. The objective of this research was to generate a state of the art through conventional search engines, as well as academics to determine and analyze the current context in Mexico in relation to the use and production of biofuels. The results indicate a low production that remains on par with sales; When carrying out an analysis of the causes of these low levels, the failed tenders stand out, which had the objective of introducing anhydrous ethyl alcohol in the gasoline sold by the parastatal Petróleos Mexicanos (PEMEX), therefore it has been determined that the actions necessary to invest The situation depends on the competent authorities such as the Chamber of Deputies, investors and a substantial change in Mexican energy policies.

**Key words:** Biomass, Fuel, Diesel, Residue.

### Introducción

Ya en el siglo XVIII el economista y demógrafo británico Thomas Malthus, enunciaba que la población humana aumenta de forma exponencial, en tanto los

recursos naturales lo hacen en progresión aritmética. De ahí que el autor refiera que el aumento de la población mundial supone un incremento en el consumo de recursos materiales, los cuales son finitos y escasos por eso a medida que pasa el tiempo, menos recursos tendrá a su disposición cada individuo para

\* Correspondencia del autor:

E-mail: psicoclin.juma90@gmail.com



Esta obra está bajo una licencia de creative commons: atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0. Los autores mantienen los derechos sobre los artículos y por tanto son libres de compartir, copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra.

asegurar su supervivencia (Malthus, 1798). Esto puede ocurrir y en efecto ocurre, particularmente en el ámbito energético, ya que en la época actual con sus subsiguientes cambios se construyen, generan y desarrollan herramientas tecnológicas con el objetivo de alcanzar mayores niveles de bienestar, pese a que la disponibilidad de los recursos energéticos necesarios para efectuar tales acciones es cada vez menor (Castro et al, 2012).

Históricamente, los combustibles fósiles han impulsado al ser humano en la búsqueda de nuevas tecnologías para el uso oportuno de la energía generada por estos. El resultado de su empleo desmedido ha provocado un daño ambiental que en la actualidad ha alcanzado niveles insostenibles y que amerita diversos correctivos. Por ello, en la segunda mitad del siglo XX se pudo observar el surgimiento de un grupo de fuentes energéticas más amigables con el ambiente y en la mayoría de los casos renovables y sustentables, tales como la radiación solar directa, la hidráulica, la eólica, la undimotriz, la mareomotriz, la obtenida de la biomasa, entre otras. Por esto hoy día existe una indagación constante sobre las formas en las que se pueden aprovechar estas alternativas energéticas para que sean tecnológicamente viables y a nivel financiero sean atractivos (Posso, 2022).

A su vez, el mundo atraviesa una crisis energética ocasionada por la dependencia de los combustibles fósiles, que son energías no renovables y los principales causantes de las emisiones de gases de efectos invernadero (GEI) provocando con ello el desgaste de la capa de ozono. México enfrenta dicha problemática debido principalmente a que emplea productos derivados del petróleo ocasionando una falta de carburantes y por ende una disminución en las extracciones de petróleo crudo. Asimismo, el exponencial consumo de energéticos ha llevado a que estos se agoten más rápido, por ello es urgente la búsqueda de fuentes de energía alternas que permitan atender las demandas de consumo de la creciente población mexicana.

Al respecto, tan solo en la nación los miles de barriles diarios (Mbd) generados han disminuidos notoriamente

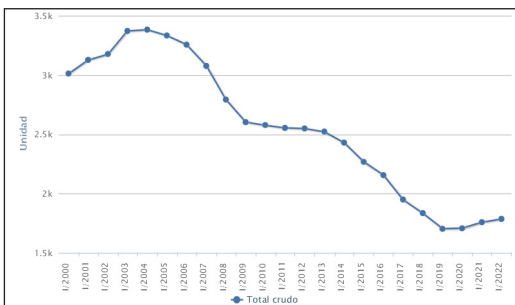


Figura 1. Producción de petróleo crudo 2000-2022. Nota. Adaptado del Sector Energético, de SENER, s.f., <https://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=cuadro&cvevca=PMXB1C02>

en los últimos años como se puede apreciar en la figura 1, en el año 2000 se obtuvieron un promedio anual de 3,012 Mbd, para el 2010 se redujo a 2,577 Mbd y en el 2022 tan solo se obtuvo una media de 1,785 Mbd, siendo en el 2019 el valor más bajo registrado en los últimos 22 años con un promedio de 1,701 Mbd (Secretaría de Energía [SENER], s.f.a).

A la vez que la producción de petróleo disminuye, el consumo energético tiene a aumentar como se puede apreciar en la Figura 2. En la República Mexicana los registros muestran un gasto energético de 3, 830 PetaJoules (PJ) en el año 2000, para el 2010 ascendió a 4,708 PJ, en 2019 incrementó a 4,760 PJ y en el 2021 aumentó a 5,357 PJ (SENER, s.f.b). Es pertinente referir que estos consumos son la sumatoria de diversas actividades, en el 2019 se reportaron por sector los valores de 42.57% para transportes, 33.37% industrial, 15.73% residencial, 4.03% agropecuarios, 3.59% comercial y 0.60% público (SENER, s.f.b).

Por ende la fuente energética más empleada en el país es de origen fósil, esto es un problema debido a que la quema de los combustibles derivados del petróleo incorpora a la atmósfera gases que atrapan el calor en la misma y por ello son denominados “gases de efecto invernadero” (GEI) tales como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) por mencionar algunos (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos [EPA], 2023); algunas de sus propiedades son el absorber y reemitir la radiación a la superficie terrestre provocando el incremento de la temperatura global, fenómeno denominado “efecto invernadero” (Trespalcacios et al., 2018). De acuerdo con el “Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGYCEI)” que realiza el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático ([INECC] 2023), México despidió 736 miles de toneladas de bióxido de carbono equivalente (Mt CO<sub>2</sub>e) de GEI como lo muestra la tabla 1. Del total de las emisiones, 63% corresponden al uso de energéticos fósiles; 14% se originaron por actividad ganadera; 10% resultaron de procesos industriales; 7% se expulsaron de residuos; 4% por las emisiones generadas para la quema de biomasa y actividades de agricultura. De acuerdo con las cifras anteriores el GEI más relevante emitido fue el dióxido de carbono ocupando el 40%,

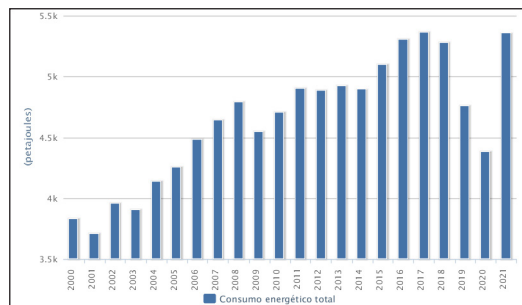


Figura 2. Consumo energético total 2000-2021. Nota. Adaptado del Sector Energético, de SENER, s.f., <https://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=cuadro&cvevca=IE7C02>

Tabla 1. Toneladas métricas de dióxido de carbono equivalentes.

Sector	Emisiones (Mt CO <sub>2</sub> e)
Energía	467
Ganado	110
Transformación industrial y utilización de Productos	73
Residuos	54
Fuentes anexadas y de emisión no CO <sub>2</sub> de la tierra	30
Total (sin tierra)	734
Tierra	-192
Total (con tierra)	542

Nota. La tabla contiene el número de emisiones por sector, para un mejor manejo los datos fueron redondeados. Adaptado de *Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGYCEI) 1990-2019* [Archivo de Excel], Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático [INECC], 2023, <https://tinyurl.com/y9wemf76>

seguido por el metano con 23% (INECC, 2023).

Ante la evidente crisis energética y ambiental que México enfrenta una de las alternativas pudiese recaer en la producción de bioenergéticos, entre los que podemos hablar de cuatro generaciones de los mismos. Cabe resaltar que estos tienen como principal ventaja una notable disminución en la emisión de GEI al utilizar bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en la fijación de biomasa y que el origen de esta determina la generación a la cual pertenece el producto. Con ello, la primera generación de biocombustibles emplea cultivos alimenticios, de acuerdo con Valdés y Palacios (2016) su producción a partir especies vegetales destinadas a la alimentación genera un aumento en los precios, tales como en el caso del maíz y la azúcar proveniente de la caña. No obstante, y a decir de los precedentes autores, los impactos ambientales adversos producidos en el transcurso del proceso de cultivo y elaboración, superan los beneficios de la reducción de emisiones de GEI.

Por otro lado, autores como Hirani et al (2018) definen a los bioenergéticos de segunda generación como aquellos elaborados a partir de materias primas no alimentarias. Acorde con ello, estos biocombustibles no competirán con los cultivos alimentarios, o en su caso lo harán en menor medida, destacando que los residuos de cultivos agrícolas y otras especies vegetales no destinadas a cultivos se producirán exclusivamente para la producción de bioenergía. En tanto, los biocarburantes de tercera generación se obtienen a partir de seres capaces de elaborar

su propio alimento a partir de la fotosíntesis, entre ellos las algas, mismas que pueden ser cultivadas en biorreactores fotoquímicos o en piletones al aire libre (Ramos et al, 2016). Finalmente, la cuarta generación de biocombustibles propone utilizar organismos genéticamente modificados, sin embargo, estos aún se encuentran en la fase de investigación. Por ello, la materia prima es procesada mediante diferentes técnicas con la finalidad de obtener bioetanol y biodiesel.

Como ya se mencionó, las fuentes a partir de las cuales se producen los biocarburantes pueden presentar diversas ventajas y desventajas, entre las más apremiantes se podría citar el consiguiente riesgo para la seguridad alimentaria nacional al desplazar los cultivos básicos alimentarios o emplearlos para atender las necesidades energéticas, por lo que actualmente mejorar las técnicas de producción supone grandes costes económicos y retos a nivel de investigación e infraestructura.

Por todo lo expuesto el objetivo general del presente análisis fue describir a profundidad las problemáticas y posibles beneficios que cada generación de biocombustibles presenta con la finalidad de alcanzar una producción sustentable en México sin que se afectan las necesidades alimenticias básicas de la población y que se respeten los ciclos propios de la naturaleza. En esta dirección, es necesario analizar el estado actual de los bioenergéticos a nivel mundial y en la República Mexicana, enfatizando las acciones gubernamentales para su producción y comercialización con la intención de poner sobre la mesa dicha alternativa y paliar el problema energético que el país enfrenta.

## Metodología

El presente estudio es de carácter cualitativo y de tipo documental, ya que se realizó una búsqueda exhaustiva de información empleando Google académico, Google convencional, así como paginas oficiales del gobierno mexicano; analizando en su mayoría trabajos que abordaran la temática para el caso particular de México y que no sobrepasaran los diez años de antigüedad, no obstante, debido a que determinadas fuentes presentaban información invariable, se optó por la elección de algunas más antiguas. Asimismo, las categorías de análisis empleadas fueron “Bioenergía”, “Biocombustibles”, “Biocombustibles en México” y “Energías alternativas”; Los artículos seleccionados fueron descartados en base al resumen e introducción, ya que estos debían abordar ventajas, desventajas, en cuanto a los documentos oficiales de gobierno se optó por utilizar las versiones más recientes.

## Resultados

Dadas las circunstancias para obtener los combustibles fósiles estos están catalogados como recursos no renovables. De acuerdo con SGM (2023) los principales

combustibles utilizados en el mundo provienen del petróleo como nafta, keroseno, combustóleo, gasolina y diésel. Es preciso referir que los consumos en 2021 (véase figura 3) fueron de 5,335 Mbd para keroseno, 6710 Mbd de combustóleo, 6829 Mbd de nafta, 23,238 Mbd de gasolina, 26,936 Mbd de diésel y 25,037 Mbd de otros (BP plc, 2023).

Al utilizar como fuente energética primaria un recurso no renovable el planeta se encuentra al límite de un colapso en dicha materia, ello porque las principales fuentes de energía son limitadas, a lo que cabe sumar una demanda en constante aumento. En esta dirección las estadísticas muestran que las necesidades energéticas en todo el planeta crecerán alrededor de un 50% en 2025 (Midttun et al., 2017).

Por otro lado, la potencial alternativa que representan las energías renovables radica en que tienen la particularidad de regenerarse más rápido pues derivan de la naturaleza (Organización de las Naciones Unidas [ONU], s.f.). De acuerdo con Salinas y Gasca (2009) dentro de estas energías renovables se encuentran los biocombustibles, que como ya se indicó se derivan de la biomasa, es decir, de cualquier tipo de material orgánico proveniente de procesos biológicos de organismos vivos, como plantas o estiércol; este concepto incluye productos de origen vegetal y animal. Aunque, actualmente el aprovechamiento de la biomasa como fuente de energía es una opción alentadora para contrarrestar la crisis energética, resaltando que algunos tipos de biocombustibles están en uso desde hace más de un siglo.

### Generaciones de biocombustibles, ventajas y desventajas

#### Biocombustibles de primera generación

Estos se obtienen de cultivos agrícolas como la caña de azúcar, la remolacha o la melaza; cereales como el trigo, la cebada o el maíz para generar bioetanol:

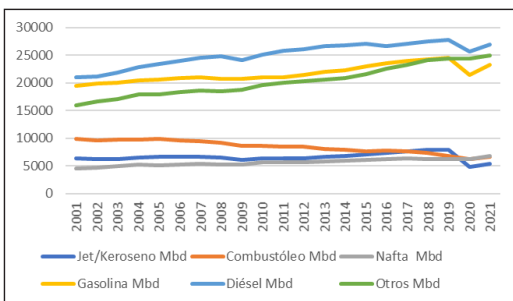


Figura 3. Consumo de combustibles en el mundo de 2001-2021. Nota. Gráfico que muestra una comparación del consumo de combustibles a través de los años. El keroseno su uso es en estufas domésticas y equipo industrial, el combustóleo es usado en calderas industriales, la gasolina es utilizada en motores de combustión interna, el diésel es usado para consumo de autobuses y camiones. Adaptado de *Revisión estadística de la energía mundial*, de BP plc, 26 de junio de 2023, <https://tinyurl.com/wu44a8ky>

o aceites como la palma o el girasol para producir biodiesel (Asociación Española de Operadores de Productos Petrolíferos [AOP], 2021). El biodiesel es un bioenergético en fase líquida, este se compone de ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de larga cadena derivados de grasas renovables, por otro lado, el bioetanol es un alcohol producido al fermentar la materia vegetal (Romero, 2010). Una de sus ventajas es que se mostraron prometedoros al reducir la dependencia de los carburantes convencionales y minimizar la emisión de GEI asociadas con su combustión (Naqvi, 2015).

Sin embargo, el utilizar como materia prima cultivos alimentarios puede repercutir en la seguridad y soberanías alimentarias del país (Planas, 2022). A causa de esto se puede determinar que los biocombustibles de primera generación representaron un avance en materia de producción de energías renovables, pero a la vez un retroceso en la búsqueda de la seguridad alimentaria mundial ya que se provoca la competencia con el cultivo de alimentos, por ende un aumento en los costos de los mismos, lo que tiende a generar repercusiones adversas a la economía de los países en vías de desarrollo como es el caso de México y otros de América Latina (Naylor & Higgins, 2018).

Tan solo en 2019 se destinaron 170 millones de toneladas de maíz para producción de bioenergéticas, siendo Estados Unidos, Canadá, Argentina y varias naciones de la Unión Europea donde se produjo bioetanol a partir de esta materia prima. Por otro lado, teniendo como materia prima la caña de azúcar, se utilizaron 370 millones de toneladas en la producción de bioetanol, destacando en ello Brasil, Paraguay, Colombia, Argentina y varios países de la Unión Europea (Torraba, 2020).

#### Biocombustibles de segunda generación

Son también denominados como combustibles derivados de materia seca vegetal, estos tienen un alto potencial al ser una opción viable energética y ambientalmente (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria [INTA], 2019), ya que la biomasa no es proveniente de cultivos destinados para alimento; esto resulta ser ventajoso en el cuidado del medio debido a la utilización de residuos principalmente compuestos de biomasa lignocelulósica; esta se compone de celulosa y lignina, componentes estructurales de las plantas y la madera (Ganguly et al., 2021).

Por lo que se utiliza como materia prima residuos forestales, agrícolas y urbanos, asimismo los lodos de depuradoras. En tanto las técnicas utilizadas para la obtención de bioetanol son torrefacción, licuación, pirolisis y gasificación, en cuanto a la elaboración de biodiesel los métodos más utilizados son pirolisis, micro emulsiones, transesterificación, además de la utilización de fluidos supercríticos como solventes (Cortés et al., 2019). Pese a ello, las técnicas empleadas aún enfrentan desafíos significativos para su producción a gran escala, tales como la falta de tecnologías eficientes y económicas, la necesidad

de grandes cantidades de biomasa y procesos de producción más sostenibles en materia del uso de energía y agua (Ganguly et al., 2021).

### Biocombustibles de tercera generación

Tal y como se indicó al principio del presente escrito, estos biocombustibles son producidos por medio de cultivos acuáticos, como lo son micro y macroalgas, así como cianobacterias. Entre sus ventajas podemos encontrar sus altos rendimientos de crecimiento y su elevado potencial energético. Además, es posible modificarles genéticamente para aumentar los rendimientos y cualidades benéficas (Sinche, 2022). Las microalgas son microorganismos que habitan en ecosistemas acuáticos, así como en terrestres presentando por ello una amplia diversidad de especies siendo tres los elementos primordiales para su desarrollo: luz solar, agua y alguna fuente que proporcione carbono. Como insumo para la producción de biocarburantes son cautivadores ya que poseen una tasa de adherencia de CO<sub>2</sub> más grande en comparación con los cultivos convencionales, por lo que almacenan el carbono en forma de grasas y azúcares para la elaboración de biodiesel y bioetanol (Sinche, 2022).

En cuanto a los productos obtenidos a partir de su procesamiento las microalgas son empleadas generalmente para la generación de biodiesel en tanto de las macroalgas se obtiene bioetanol (Alonso Gómez & Bello Pérez, 2018). Finalmente, para lograr un adecuado aprovechamiento de dichos insumos es necesario contar con una biorrefinería adecuada, lo que actualmente sigue implicando un costo de inversión mayor (Armas et al., 2019).

### Biocombustibles de cuarta generación

Por medio de ingeniería se generan microorganismos modificados genéticamente a partir de los cuales se producen bioenergéticas (Shokravi et al., 2021). Sin embargo, aún se encuentran en sus etapas iniciales, por lo que todavía existen importantes desafíos. Uno de ellos es el costo y la complejidad de la ingeniería genética y la producción a gran escala de microorganismos modificados genéticamente (Abdullah et al., 2019).

### Tecnología en la producción de biocombustibles

La refinación de procesos en la extracción de biocombustibles es necesaria para aumentar los rendimientos y reducir los costes, por ello en las últimas décadas se han experimentado una serie de cambios al respecto (Ambaye et al., 2021). Tomando en cuenta la multiplicidad presente en las materias primas es necesario desarrollar diversas tecnologías (véase figura 4), por ello, enseguida se describen de manera breve algunas de las principales técnicas a través de las cuales es posible la producción de biocombustibles.

**Fermentación.** Se emplean microorganismos para descomponer la materia prima, generalmente se usan en la elaboración de biocarburantes de primera

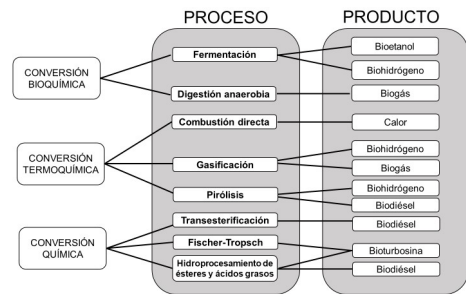


Figura 4. Procesos básicos de la transformación de la biomasa. Nota. Adaptado de Sánchez (2021)

generación, aunque también es utilizada en los de segunda generación (Ganguly et al., 2021).

El hidroprocesamiento de ésteres y ácidos grasos (HEFA) consiste en un procedimiento químico, el cual es empleado en la elaboración de bioturbosina y biodiésel a partir de aceites vegetales y grasa animal. (Sánchez, 2021).

**Biorrefinerías.** Son instalaciones que incorporan diversos procedimientos de transformación de biomasa, así como productos químicos y materiales avanzados. En lugar de producir un único producto, como los biocombustibles de primera generación, las biorrefinerías aprovechan la diversidad de la biomasa para producir una mayor diversidad de mercancía y reducir el desperdicio (Hingsamer & Jungmeier, 2019).

**Enzimas y microorganismos modificados genéticamente.** Se han desarrollado enzimas que mejoran la descomposición de la celulosa. De igual forma, microorganismos capaces de producir biocombustibles directamente a partir de la luz solar y el CO<sub>2</sub> atmosférico, lo que podría aumentar la sostenibilidad de los biocombustibles (Wen et al., 2009).

**Pirólisis y gasificación.** La pirólisis es una tecnología que utiliza calor para descomponer la biomasa en gases y líquidos, se puede producir una amplia gama de biocombustibles, incluyendo bio-oil, biochar y gas de síntesis. En el caso de la gasificación se usa calor y vapor para fragmentar la biomasa en un gas sintético el cual puede ser utilizado directamente como combustible o convertido en otros biocombustibles como metanol y dimetil éter (Weldekida et al., 2018). Fischer-Tropsch, transforma el gas de síntesis en hidrocarburos de largas cadenas, estos con alto valor agregado, como la bioturbosina, diésel verde, nafta y otros productos (Araujo-Ferrer, et al., 2013)

### México y los biocombustibles

En el caso de la República Mexicana existe la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos (LPDB), la cual fue publicada el primero de febrero de 2008, misma que fue diseñada para regular la elaboración, distribución y comercio de biocarburantes en el país, así como promover la investigación en universidades e instituciones de educación superior, así como generar

empleos al reactivar al sector rural mediante cultivos de aprovechamiento forestal, aunque en la misma se resalta el no poner en riesgo la seguridad y soberanía alimentaria (Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos [LPDB], 2008).

Acorde a lo establecido en la LPDB entre los años 2008-2010 se otorgaron los apoyos federales y estatales para incorporar los cultivos, estos consistieron en dotaciones económicas de 7,400 pesos mexicanos por hectárea, siendo éstos condicionados a una siembra de 1,600 plantas por hectárea, así como una subsistencia al año mayor al 70%. Dicho apoyo fue otorgado a través de la entonces Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), por medio del programa de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) conocido como Pro-árbol, que asignó a la *Jatropha* como especie de aprovechamiento forestal; debido a que no se utiliza como alimento, igualmente porque sus semillas son ricas en aceite y su conveniente característica de crecer en suelos de baja fertilidad con bajos costes de cuidado (Rodríguez et al., 2014).

Los estados involucrados en este programa fueron Chiapas, Michoacán, Veracruz, Yucatán y Quintana Roo. A pesar de ello los resultados no fueron los previstos, ya que no se contaba con los conocimientos técnicos para cultivar *Jatropha* ni las redes comerciales adecuadas para el producto dado que Petróleos Mexicanos (PEMEX) no empleo los combustibles producidos como oxigenantes en su mercancía aunado a la falta de infraestructura adecuada para el refinamiento de los biocombustibles, provocando un desaliento para inversionistas privados y el sector público de los gobiernos estatales (Rodríguez et al., 2014). Es pertinente resaltar que durante este lapso de tiempo se construyeron plantas para la producción y procesamiento de biodiesel en Nuevo León, Michoacán y Chiapas, no obstante, estas cesaron actividades en 2011 (Toscano et al., 2011).

En este sentido, el Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (CEDRSSA, 2020) refiere que en 2014 la Secretaría de Energía (SENER) hizo de carácter público la propuesta para la introducción de alcohol etílico anhidro en la gasolina comercializada por PEMEX, sin embargo, en dicho documento se hace alusión a dos licitaciones fallidas. La primera de ellas fue convocada en 2009 con el propósito de obtener etanol como aditivo (sustituto del MTBE) en las gasolineras del área metropolitana de Guadalajara. La segunda, realizada en 2012, pretendía comprar el biocombustible como oxigenante, al 5.8% por litro de gasolina en ciertas localidades del sureste mexicano. No obstante, ninguno de los llamados fue llevado a cabo debido a que las ofertas no fueron solventadas financieramente.

De igual manera, en la publicación también se menciona que hubo una tercera licitación que fue llamada en 2014 con el motivo de comprar etanol

como oxigenante de la gasolina magna en múltiples estaciones de depósito y distribución en el país, por lo que Petróleos Mexicanos tendría que realizar los cambios pertinentes en sus instalaciones para el uso y combinación del biocombustible. También, seis contratos fueron otorgados a empresas con el objetivo de venderle a PEMEX hasta 123 millones de litros por año de alcohol etílico anhidro, comenzado en 2016 y en principio por un lapso de 10 años, para lo cual era necesario el recurso financiero que posibilitara la adecuación de las refinerías. Sin embargo, hasta el año 2020 la referida sentencia de licitación no se había completado.

En 2016 la Comisión Reguladora de Energía (CRE) expidió la Norma Oficial Mexicana NOM-016-CRE-2016, donde se señalan especificaciones de calidad de los petrolíferos. En dicha norma se prohíbe el etanol en las gasolineras de las áreas metropolitanas de Guadalajara, Monterrey y el Valle de México, aunque en el resto del país se permite el 5.8% de alcohol etílico anhidro como aditivo de la gasolina, tanto regular como premium (Secretaría de Gobernación [SEGOB], 2016). Un año después esta norma se modificó permitiendo la anterior mezcla hasta en un 10%, pese a ello en 2020 la Suprema Corte de Justicia de la Nación (SCJN) invalidó los cambios por lo que actualmente la mezcla permitida sigue siendo de 5.8% (SEGOB, 2020).

Pese al panorama desalentador la investigación sigue avanzando, ya que por parte del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) se ha trabajado en la búsqueda y desarrollo de variedades con características deseables. Dichos trabajos han sido realizados desde el año 2007 a la fecha en el sur de México, esto a través del programa de investigación de bioenergía del INIFAP, con lo que se ha logrado la selección y generación de tres variedades clonales de *Jatropha curcas*, contando así con una adaptación al trópico húmedo, adaptación al clima del trópico seco, alto rendimiento de grano, alto contenido de aceite y buena calidad en el mismo (Solís Bonilla, 2022); Es posible acceder a estas variedades por medio de los lotes de multiplicación (jardines clonales) que se encuentran en cuatro Campos Experimentales del INIFAP: CE Rosario Izapa, en el municipio de Tuxtla Chico, Chiapas; CE Valle de Apatzingán, en Michoacán, CE Las Huastecas, en el municipio de Altamira, Tamaulipas y CE Mocochoa, en el municipio de Uxmal, Yucatán (Solís Bonilla et al., 2019).

Así mismo es posible encontrar apoyos gubernamentales como el ofrecido por PROBOSQUE, el cual tiene como objetivo establecer las plantaciones de *Jatropha* en campo, por ello, en 2018 ofreció acompañamiento de los primeros cuatro años de la planta, dicho apoyo consiste en lo siguiente: Desarrollar la plántula en su vivero, además el primer año se le da \$5000 por hectárea a cada productor con la intención de cubrir el coste de trasplante, los tres años restantes se les aporta \$3000 por hectárea para mantenimiento de las plantas; los técnicos de campo de PROBOSQUE son los

responsables de verificar que se haga el trasplante y monitorear el cuidado de las mismas (Sánchez, 2021). Aunque tener la materia prima es indispensable, igualmente lo es la tecnología para su refinamiento, en concordancia SAGARPA reportó siete plantas de biodiesel y bioetanol en el país, con una capacidad de producción de 42.2 millones de litros anuales (SAGARPA, 2017); De los cuales, 5277.8 m<sup>3</sup> corresponden a biodiésel, además actualmente se cuenta con la existencia de tres empresas recicladoras de aceite de semilla y grasas animales, así mismo con una empresa enfocada a la generación de tecnología para la producción a mediana y gran escala de bioenergéticos (Cabrera et al., 2022); Para finalizar, aun con las bajas cantidades permitidas en las mezclas de gasolinas el 21 de julio de 2022 la SENER otorgó 24 permisos de comercialización, cinco de producción y ocho de transporte, todo ello en materia de biocombustibles (SENER, 2022).

## Discusión

Es apremiante encontrar nuevas alternativas energéticas que sean parcialmente inagotables, del mismo modo estas deben ser amigables con los ciclos propios de la naturaleza para reducir el impacto sobre la misma y evitar repetir errores del pasado. La elaboración de un proyecto debe ser analizado por un panel de expertos y cada decisión tomada debe ser sometida a varios filtros que demuestren su viabilidad o en su caso, aporten datos contrarios para impedir su implementación; Todo con el fin de obtener los mejores resultados y mayor eficiencia, tal como sugiere Castro y colaboradores (2012); Aunque este proyecto no solo debe mejorar los rendimientos, también debe adaptarse a las condiciones socioeconómicas de México, ya que al respecto Alonso & Bello (2018) muestran como la caña de azúcar modificada puede retener mayores porcentajes de dióxido de carbono, sin embargo esto puede colocar en peligro la seguridad y soberanía alimentarias de nuestro país.

México aún enfrenta grandes retos, como la implementación adecuada de programas que impulsen la producción y consumo de los biocarburantes, tal como se puede observar en el trabajo de Rodríguez y colaboradores (2014), esta situación ha cambiado con el transcurrir de los años ya que la investigación realizada por Sánchez (2021) ha demostrado un mejoramiento en cuanto a los programas gubernamentales, del mismo modo en prácticas implementadas para mitigar los aspectos negativos asociados a los cultivos energéticos.

En el mismo sentido, desarrollar la tecnología adecuada en el refinamiento de los productos finales representa un reto a superar; Valdez & Palacios (2016) proponen la implementación de tecnologías de bajos costos, lo cual es contradictorio al revisar el trabajo de Palomino y colaboradores (2010) quienes indican que para un aprovechamiento correcto de la biomasa son necesarias biorrefinerías especializadas,

umentando así el coste de infraestructura; Aunque el país ha logrado un paso para desarrollar la tecnología de producción de biocarburantes ya que Cabrera y colaboradores (2022) mencionan la existencia de una empresa enfocada en este rubro.

Esto supone uno de los mayores retos por la necesidad de elaborarse a largo plazo, ya que depende del cambio en la administración del gobierno, puesto que no se siguen los proyectos del gobernante anterior, dejando inconclusos proyectos al final de cada sexenio; De igual modo seleccionar la materia prima adecuada junto a la tecnología necesaria para no poner en riesgo la seguridad ni soberanía alimentaria. Si bien el presente trabajo presenta un análisis limitado de las primordiales problemáticas que en nuestro país presenta la elaboración de biocombustibles como alternativa energética a los de origen fósil, da pauta a la realización de encuestas y entrevistas como principales técnicas de investigación particularmente en zonas rurales con la intención de conocer la percepción y determinar el grado de aceptación de la referida opción energética entre los pobladores de dichos espacios.

## Conclusión

La dependencia del petróleo ha generado la crisis energética, del mismo modo provocó el desgaste acelerado de la capa de ozono, por ello los biocombustibles son una opción alentadora para minimizar el uso de los carburantes convencionales; Obtener biocarburantes que sustituyan a los combustibles utilizados en la generación de energía causaría un impacto significativo, ya que como los datos lo indican, la mayor cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub>, provienen de la industria energética.

México produce y usa unas cantidades bajas de biocombustibles en gran parte por el fracaso de los proyectos que intentaron impulsar su desarrollo; Los resultados actuales muestran un aprendizaje de dichos fracasos, encaminando los nuevos proyectos en la dirección correcta, del mismo modo los avances en la investigación de *Jatropha curcas* muestra resultados prometedores, aunque la clave de estos proyectos se encuentra en los subsidios gubernamentales.

El país aún no ha logrado obtener la seguridad alimentaria por lo que utilizar un cultivo alimenticio como el maíz y azúcar eleva los precios en el mercado, haciéndolos menos accesibles para la población, por lo que fractura la economía de forma general; Este efecto es creado de igual modo al desplazar los cultivos alimentarios por los cultivos no alimenticios que serán usados como materia prima; Aunque este efecto puede ser mitigado al utilizar las practicas correctas, como la asociación de cultivos, logrando una complementación al ingreso económico de los hogares mexicanos.

Es pertinente la realización de un proyecto a largo plazo, esto con el objetivo de minimizar los

problemas sociales, económicos, tecnológicos y culturales que pueden presentarse, el proyecto debe ser elaborado, coordinado y trabajado en conjunto por organismos especializados como SENER y PEMEX, INIFAP, PROBOSQUE y tomando en cuenta a la Suprema Corte de Justicia; Se debe conjuntar un programa que divulgue los beneficios del uso de bioenergéticos para conseguir la aprobación de la población, así como proporcionar la facilidad de realizar la transición de hidrocarburos a biocarburantes.

Impulsar la investigación en casas de estudios y particulares es sumamente importante porque con esto es posible obtener la tecnología o refinamiento de procesos que tiene el potencial para reducir los insumos y gastos energéticos, lo cual usualmente tiene como efecto el aumento de los rendimientos. Por último, se pueden observar mejoramiento y avances en materia de investigación, programas gubernamentales, infraestructura, pero ninguno en cuanto a políticas, por ende, no es posible lograr un cambio significativo, ya que no todos los sectores logran desarrollarse de la forma adecuada, deteniendo así el progreso.

## Recomendaciones

México requiere de una modificación de la NOM-016-CRE-2016, para aumentar el porcentaje permitido, así mismo lograr la introducción de biocarburantes en el sector transporte de las grandes ciudades; Impulsar la infraestructura necesaria para el refinamiento de biocarburantes; Implementar en los programas que apoyan a las plantaciones de cultivos energéticos prácticas sustentables para mitigar aún más el cambio climático.

## Referencias

- Abdullah, B., Muhammad, S. A. F., Shokravi, Z., Ismail, S., Kassim, K. A., Mahmood, A. N., & Aziz, M. M. A. (2019). Fourth generation biofuel: A review on risks and mitigation strategies. *Renewable and sustainable energy reviews*, Vol. 107, 37-50. <https://tinyurl.com/3pxu8889>
- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. (7 de junio de 2023). *Descripción general de los gases de efecto invernadero*. <https://tinyurl.com/4btyhx76>
- Alonso Gómez, L. A., & Bello Pérez, L. A. (2018). Materias primas usadas para la producción de etanol de cuatro generaciones: Retos y oportunidades. *Agrociencia*, Vol. 52(núm. 7). <https://tinyurl.com/4ywsyfw>
- Ambaye, T., Vaccari, M., Bonilla-Petriciolet, A., Prasad, S., van Hullebusch, E. D., & Rtimi, S. (2021). Emerging technologies for biofuel production: A critical review on recent progress, challenges and perspectives. *Journal of environmental management*, Vol. 290. <https://tinyurl.com/bdezazwd>
- Araujo-Ferrer, S. C., De Almeida, A., Zabala, A., & Granados, A. (2013). Uso de catalizadores en los procesos Fischer-Tropsch. *Revista mexicana de ingeniería química*, 12(2), 257-269. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1665-27382013000200006](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-27382013000200006)
- Armas, A., Morales, M., Albornas, Y., & Gonzáles, E. (2019). Proyección de una industria azucarera para transformarse en una biorrefinería a partir de biocombustibles de segunda y tercera generación. *Revista tecnología química: Universidad de oriente*, vol.39, no.39, 489-507. <https://tinyurl.com/3n5m2w8a>
- Asociación Española de Operadores de Productos Petrolíferos. (3 de junio de 2021). *Biocombustibles*. <https://tinyurl.com/bd7zj79v>
- BP plc. (26 de junio de 2023). *Revisión estadística de la energía mundial*. <https://tinyurl.com/wu44a8ky>
- Cabrera, D. A., Romero, A., Lopéz, R. A., Rios, L. J., & Leyva, Z. C. (2022). Producción de Biodiésel en México: Estado Actual y. *CienciaCierta*, 72, 334-383. <http://www.cienciacierta.uadec.mx/articulos/cc72/292producciondebiodiesel.pdf>
- Castro Martínez, C., Beltrán Arredondo, L. I., & Ortiz Ojeda, J. C. (2012). Producción de biodiesel y bioetanol: ¿Una alternativa sustentable a la crisis energética? *Ra Ximhai*, Vol. 8(núm. 3), 94. <https://tinyurl.com/346vjvuu>
- Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria. (abril de 2020). La producción y el comercio de los biocombustibles en México y en el mundo. Cámara de Diputados, gobierno de México. <https://tinyurl.com/yc57vdcd>
- Cortés, M., Gata, E., Pipió, A., Rodríguez, Á., & Sánchez, J. (2019). Biocombustibles: tipos y estrategias de producción. *MoleQla: revista de Ciencias de la Universidad Pablo de Olavide*, (núm.35), 20-25. <https://tinyurl.com/bdfpvzmm>
- Ganguly, P., Sarkhel, R., & Das, P. (2021). The second- and third-generation biofuel technologies: comparative perspectives. *Sustainable Fuel Technologies Handbook*. 29-50. <https://tinyurl.com/mw3bzcx5>
- Hirani, A., Javed, N., Asif, M., Basu, S., & Kumar, A. (2018). Biofuels: Greenhouse Gas Mitigation and Global Warming. *Publisher Springer India*, 141-154. [https://doi.org/10.1007/978-81-322-3763-1\\_8](https://doi.org/10.1007/978-81-322-3763-1_8)
- Hingsamer, M., & Jungmeier, G. (2019). Biorefineries. *The role of bioenergy in the bioeconomy*, 179-222. <https://tinyurl.com/2awcx47a>
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (enero de 2023). *Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGYCEI) 1990-2019* [Archivo de Excel]. Gobierno de México. <https://tinyurl.com/y9wemf76>
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. (1 de octubre de 2019). *Buscan obtener biocombustibles de segunda generación*. Argentina.gob.ar. <https://tinyurl.com/2wsuf5zy>
- Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos (1 de febrero de 2008). <https://tinyurl.com/4h8nwef5>
- Malthus, T. (1798). *Primer ensayo sobre la población*. Altaya. <https://museo-etnografico.com/pdf/puntodefuga/171128malthus.pdf>
- Middtun, A., & Piccini, P. B. (2017). Facing the climate and digital challenge: European energy industry from boom to crisis and transformation. *Energy Policy*, Vol. 108, 330-333. <https://tinyurl.com/3ar6j6kt>
- Naqvi, M., & Yan, J. (2015). *First-generation biofuels*. Handbook of clean energy systems. <https://doi.org/10.1002/9781118991978.hces207>
- Naylor, R. L., & Higgins, M. M. (2018). The rise in global biodiesel production: Implications for food security. *Global food security*, Vol. 16, 75. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2211912417300172>
- Organización de las Naciones Unidas. (s.f.). *¿Qué son las energías renovables?*. <https://www.un.org/es/climatechange/what-is-renewable-energy>
- Palomino A., Estrada C., & López J. (2010). Microalgas: potencial para la producción de biodiesel. *Congreso brasileiro de mamona, 4 & simpósio internacional de oleaginosas energéticas*. 149-157. <https://tinyurl.com/424s3pau>
- Planas, O. (2 de septiembre de 2022). Evolución de los biocombustibles de primera a cuarta generación. *Energía Solar*. <https://tinyurl.com/yhdck744>



- Posso, F. (2002). Energía y ambiente: pasado, presente y futuro. Parte dos: Sistema energético basado en energías. *Geoenseñanza*, Vol. 7(núm. 1-2),54-73. <https://www.redalyc.org/pdf/360/36070206.pdf>
- Ramos, F., Díaz, M., & Villar, M. (2016). Biocombustibles. *Asociación Civil Ciencia Hoy*, Vol. 147(núm. 1-1),69-73. <https://tinyurl.com/55wvmkak>
- Rodríguez, O. A. V., V. A. P., & Sánchez, O. S. (2014, octubre). Las experiencias mexicanas con plantaciones de *Jatropha* [convención]. Estado del arte en la ciencia y tecnología para la producción y procesamiento de *Jatropha* no tóxica. Matanzas, Cuba. <https://www.mdpi.com/2071-1050/6/6/3732>
- Romero, A. (2010). Aprovechamiento de la biomasa como fuente de energía alternativa a los combustibles fósiles. *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (España)*. Vol. 104(núm. 2), 39. <https://rac.es/ficheros/doc/00979.pdf>
- Salinas, E. & Gasca, V. (2009). Los biocombustibles. *El Cotidiano*, (núm. 157), 75-76. <https://www.redalyc.org/pdf/325/32512739009.pdf>
- Sánchez, C. (2021). Desarrollo rural sostenible: Experiencias de producción de *Jatropha curcas* en dos regiones de México [Tesis doctoral, Universidad Autónoma Chapingo]. Repositorio Chapingo. <http://repositorio.chapingo.edu.mx:8080/handle/20.500.12098/859>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2017, febrero 11). *Impulsa SAGARPA producción de biocombustibles en México*. <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/impulsa-sagarpa-produccion-de-biocombustibles-en-mexico>
- Secretaría de Energía. (21 de junio de 2022). *Permisos otorgados por Secretaría de Energía para la comercialización, transporte, producción y almacenamiento de bioenergéticos*. Gobierno de México. <https://tinyurl.com/mrm6ax7c>
- Secretaría de Energía. (s.f.a). *Sector Energético*. Gobierno de México. <https://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=cuadro&cveca=PMXB1C02>
- Secretaría de Energía. (s.f.b). *Sector Energético*. Gobierno de México. <https://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=cuadro&cveca=IE7C02>
- Secretaría de Gobierno. (29 de agosto de 2016). *Acuerdo por el que la Comisión Reguladora de Energía expide la Norma Oficial Mexicana NOM-016-CRE-2016, Especificaciones de calidad de los petrolíferos*. Gobierno de México. <https://tinyurl.com/5n6kkn35>
- Secretaría de Gobierno. (18 de septiembre de 2020). *Acuerdo de la Comisión Reguladora de Energía que da cumplimiento a la resolución dictada por la Segunda Sala de la Suprema Corte de Justicia de la Nación en el Amparo en Revisión A.R. 610/2019; derivado del Juicio de Amparo Indirecto 1118/2017 interpuesto en contra del Acuerdo Núm. A/028/2017 por el que se modifica la Norma Oficial Mexicana NOM-016-CRE-2016, Especificaciones de calidad de los petrolíferos, con fundamento en el artículo 51 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización*. Gobierno de México. <https://tinyurl.com/5n6kkn35>
- Shokravi, H., Shokravi, Z., Heidarrezaei, M., Ong, H. C., Koloor, S. S., Petru, M., Lau, W. & Ismail, A. F. (2021). Fourth generation biofuel from genetically modified algal biomass: Challenges and future directions. *Chemosphere*, Vol. 285. <https://tinyurl.com/yc5deukc>
- Sinche, D. (27 de julio de 2022). Biocombustibles de tercera generación: el potencial de las microalgas. *Petroenergía*. <https://tinyurl.com/4zv6hs93>
- Solís Bonilla, J. L. (2022, octubre 24). *El INIFAP impulsa el cultivo de *Jatropha curcas* como alternativa para la producción de Biocombustibles*. <https://www.gob.mx/inifap/articulos/el-inifap-impulsa-el-cultivo-de-jatropha-curcas-como-alternativa-para-la-produccion-de-biocombustibles>
- Solís Bonilla, J. L., Martínez Valencia, B. B., Rico Ponce, H. R., Basulto Colmanier, J. A., Avendaño Arrazate, C. H., & Zamarripa Colmenero, A. (2019). Doña Aurelia: nuevo cultivar de piñón para el trópico de México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(8), 1919-1925. <https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/1940/2828>
- Toscano, L., Montero, G., Stoytcheva, M., Campbell, H., Lambert, A. (2011). Preliminary assessment of biodiesel generation from meat industry residues in Baja California, Mexico. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 35(núm. 1), 26-31. <https://tinyurl.com/5n7uczhh>
- Trespalcacios, J., Blanquicett, C., & Carrillo, P. (2018). Gases y efecto invernadero. *Instituto de Desarrollo Sostenible*. <https://tinyurl.com/bdksu4kh>
- Valdés, O. & Palacios, O. (2016). Evolución y situación actual de plantaciones para biocombustibles: perspectivas y retos para México. *Agroproductividad*, Vol. 9(núm. 2), 33-41. <https://tinyurl.com/2yznfdmk>
- Weldekidan, H., Strezov, V., & Town, G. (2018). Review of solar energy for biofuel extraction. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 88, 184-192. <https://tinyurl.com/3e3sajfd>
- Wen, F., Nair, N. U., & Zhao, H. (2009). Protein engineering in designing tailored enzymes and microorganisms for biofuels production. *Current opinion in biotechnology*, Vol. 20(núm. 4), 412-419. <https://tinyurl.com/4cd7etfb>