Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riiit.com.mx

Perspectivas Energéticas, el panorama de los biocombustibles

Energy Perspectives, the outlook for biofuels

Castañeda-Samano, C.M., Ochoa-Fuentes, E.A., Morales-Mercado, V., Colín-Orozco, E., Ramírez-Palma, M.T.*

Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Ingeniería, Cerro de Coatepec S/N, Ciudad Universitaria, Universitaria, 50110 Toluca de Lerdo, Méx.
celeste.m.castaneda.samano@gmail.com; edmaraof@hotmail.com; vmoralesm@uaemex.mx; ecolino@uaemex.mx; mtramirezp@uaemex.mx*

Innovación Tecnológica: Investigación de biocombustibles como alternativa renovable a los combustibles fósiles.

Área de Aplicación: Energía renovable aplicable en tecnologías como generación de energía, industria química y principalmente en el transporte.

Recibido: 12 agosto 2024
Aceptado: 08 noviembre 2024

Abstract

Biofuels are a renewable energy source, obtained from biomass, i.e. organic matter and its derivates. These biofuels are developed by micro and macro organisms, and their objective is to generate lower polluting impact than conventional fossil fuels. Despite having been discovered in the 19th century, interest in biofuels grew progressively in the scientific world after the energy crises of the 20th century, evolving in different stages in which different technologies have been added to obtain them, reaching the three current generations of biofuels, as well as a fourth in development. This progress, led by the United States and Brazil, has led to more than 12,000 patents since the 1970s to date, which has enabled a diverse number of applications for different biofuels, including the plastics industry, electricity generation and transportation fuels, among others. Their lower energy generation capacity, together with their high cost compared to fossil fuels, have contributed to the fact that fossil fuels continue to outperform biofuels in the market. However, this situation is expected to change in the near future due to the growing implementation of standards in different countries, but mainly due to the inevitable depletion of fossil fuels.

The main objective of this work is to create an article that concisely summarizes what biofuels are, as well as their industrial and everyday life applications. In the same way, it is intended to be easy to understand, as well as to be a good support material for people looking for an introduction to biofuels.

Key Words: Biofuels, Biomass, Waste, Generation, Fossil, Renewable energy, Patents.

Resumen

Los biocombustibles son una fuente de energía renovable cuya fuente de obtención es la biomasa, es decir, la materia orgánica y sus derivados. Estos biocarburantes se desarrollan a partir de micro y macroorganismos, y tienen por objetivo el generar un menor impacto contaminante que los combustibles fósiles convencionales. A pesar de haber sido descubiertos en el siglo XIX, el interés hacia los biocombustibles creció progresivamente dentro del mundo científico a partir de las crisis energéticas del siglo XX, evolucionando en diferentes etapas en las que se han ido sumando diferentes tecnologías para su obtención, llegando así a las tres generaciones actuales de biocombustibles, además de una cuarta en desarrollo. Con dicho avance, liderado por Estados Unidos y Brasil, se ha superado la considerable cantidad de 12,000 patentes desde los años setenta hasta la actualidad, lo que ha permitido una diversa cantidad de aplicaciones para los diferentes biocombustibles, dentro de las que se destacan la industria de plásticos, generación de electricidad, combustibles para transporte, entre otras. Su menor capacidad de generación energética, aunado a su elevado costo en comparación con los combustibles fósiles, han contribuido para que estos últimos sigan posicionándose por encima de los biocombustibles en el mercado. Sin embargo, se espera que esta situación cambie en un futuro cercano debido a la creciente implementación de normas en diferentes países, pero principalmente al inevitable agotamiento de los combustibles fósiles.

El principal objetivo de este trabajo es la creación de un artículo que abarque de forma concisa un resumen de lo que son los biocombustibles, al igual que sus aplicaciones a nivel industrial y en la vida cotidiana. Asimismo, dar a conocer su información de modo que sea de fácil entendimiento, además de ser material de apoyo para personas que busquen una introducción a los biocombustibles.

Palabras clave: Biocombustibles, Biomasa, Residuos, Generación, Fósiles, Energía renovable, Patentes.

1. Introducción

A pesar de que no se tiene un registro exacto de la fecha del descubrimiento del petróleo, fueron los métodos innovadores de Edwin Drake los que hicieron posible la primera excavación de un pozo petrolero en el año 1859, en el estado de Pensilvania, Estados Unidos de América. Lo que cambiaría el curso del siglo XX, marcando el inicio de la era de la industria energética petrolera. Al haber establecido un modelo económico internacional dependiente del petróleo, algunos científicos del siglo XX, como el geofísico norteamericano King Hubbert, tuvieron cierta preocupación por tratarse de un recurso finito. Hubbert, en 1971, proyectó una crisis petrolífera, dando a entender que el desabasto del petróleo no era imprevisible, sino más bien una realidad

en algún punto de la historia del hombre (Daily History, 2009).

Dos años más tarde, en 1973 se da por primera vez una crisis energética mundial, siendo el causante de la misma, el conflicto armado árabe-israelí. La Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP), tomó la decisión de no exportar más petróleo a los países aliados de Israel en la Guerra de Yom Kippur, conflicto en el cual EE. UU se vio involucrado al enviar grandes cantidades de armamento a Israel, por lo que la OPEP hizo pagar las Intervenciones de Estados Unidos, bloqueando la exportación de petróleo al país, desencadenando así una crisis mundial energética (Maffeo, A., 2003).

Como consecuencia del continuo agotamiento de los combustibles fósiles, la sociedad se ha visto obligada al desarrollo de diferentes alternativas, para poder cumplir con la creciente demanda de dichos combustibles. Es así, que surgen las energías renovables, para fungir como fuente energética, así como cubrir las necesidades antropogénicas, implementando el concepto de desarrollo sustentable, que denota el cumplimiento de las necesidades de la sociedad actual sin comprometer las de las generaciones futuras.

Una de las tecnologías innovadoras alternativas que han sido propuestas en los últimos tiempos, son los biocombustibles, los cuales son obtenidos de la biomasa; se tiene previsto que este tipo de fuente de energía sea capaz de sustituir a los combustibles fósiles en un futuro próximo cuando los biocombustibles hayan logrado una mayor madurez tecnológica.

2. ¿Qué son los biocombustibles?

Los biocombustibles son el producto de reacciones y procesos que involucran directa o indirectamente la materia biológicamente renovable, este tipo de combustible es elaborado a base de micro y macroorganismos. Dicho de otra forma, consiste en un combustible cuyo fin es reducir la emisión de contaminantes a la atmósfera en comparación con los carburantes. Estos se generan a partir de diferentes tipos de materia prima, a la que se le denomina “biomasa” que puede provenir de diferentes actividades antropogénicas de las cuáles es posible que persistan residuos biodegradables (Fernández, L. *et al.*, 2012).

Por otra parte, un elemento importante en el creecimiento de las plantas es el proceso de fotosíntesis, el cual no sería posible sin la energía solar, esta energía forma parte de la cadena trófica de la biomasa (Bioplat, 2022).

La biomasa es un término que involucra una gran cantidad de elementos, ya que consiste en el conjunto de la materia orgánica y los materiales derivados de su transformación. Debido a esto, se encuentra dividida en tres diferentes clasificaciones, de acuerdo con su composición, su origen y el estado en el que se encuentran (Afanasjeva, N. *et al.*, 2017).

Clasificación de la biomasa de acuerdo con su composición:

Oleaginosas: este tipo de plantas se caracteriza porque de sus semillas o frutos, se pueden extraer aceites para uso industrial o comestible; este grupo está constituido por la soya, canola, cártamo y girasol (Narváez, J. *et al.*, 2017).

Soya: Esta oleaginosa constituye el 26% de biodiésel consumido en el mundo, sin embargo, este cultivo puede llegar a ser perjudicial para el sector agroalimentario, ya que, por cada hectárea de cultivo soyero, se pierden de 16 a 30 toneladas de suelo debido a la degradación del suelo, al igual que a la deforestación que su cultivo supone (Villadiego, L. & Castro, N., 2020).

Canola: También denominada colza, se trata del cultivo de mayor importancia en el año 2020 en Canadá, generando una cantidad de 18.7 millones de toneladas, de las cuales una buena fracción se ve implementada en el desarrollo de biocombustibles, los cuales deben cubrir obligatoriamente un 2% de los combustibles. La producción de canola genera la impresionante cantidad de 29.9 millones de dólares canadienses (Narváez, J. *et al*. 2017).

Cártamo: Sirve para la elaboración de aceite vegetal derivado de las semillas, es una especie adaptada a la aridez puesto que requiere de poca agua y crece en suelos poco fértiles y con diferentes tipos de climas, por lo que representa una excelente materia prima para la producción de biodiesel (Gobierno de México, 2015).

Girasol: A partir de esta planta se obtiene el aceite vegetal de girasol, el cual puede ser aprovechado como un biocombustible debido a que el valor de calor bruto es de 16 767 Btu/lb, cuya diferencia representa únicamente un 13.5% (19 386 Btu/lb) con respecto al diésel. Una de las ventajas del cultivo de girasol es que no requiere de un tipo de suelo especial, sin embargo, requiere al menos un metro cuadrado por cada cuatro plantas, lo que representa, grandes superficies de terreno (Narváez, J. *et al.*, 2017).

Alcoholígenos: el producto obtenido como el alcohol etílico, o etanol, es el resultado de los procesos de fermentación de azúcares (glucosa, fructosa y sacarosa) que residen en los productos vegetales como la remolacha, la caña de azúcar, cebada, trigo, etc. Los hidratos de carbono se componen de los elementos de carbono, hidrógeno y oxígeno, que en conjunto forman a las unidades básicas, siendo éstas los monosacáridos o azúcares simples, dentro de este grupo se encuentra la glucosa, la fructosa y la galactosa que se pueden encontrar en frutas, verduras y miel. La lactosa, un disacárido formado por glucosa y galactosa, se encuentra en lácteos como la leche y el yogur. Dicho esto, los disacáridos consisten en la unión de dos monosacáridos, siendo un ejemplo de ellos la sacarosa, que es la unión de la fructosa y la glucosa. Cabe mencionar que se le conoce como polisacárido a un conjunto de hidratos de carbono complejos, los cuales son moléculas largas formadas por monosacáridos. Se implementan principalmente en la producción de etanol para la sustitución (completa o parcial) de las gasolinas para vehículos, al igual que como aditivo antidetonante sin plomo (Terralia, 2002).

Amilácea/Inulínica: este tipo de biomasa radica en los hidratos de carbono en forma polisacárida como los que se pueden encontrar en el almidón o inulina. El almidón es un poliglicano, es decir, un polímero de glucosa con cadenas lineales o ramificadas compuestas por 20% de amilosa y 80% de amilopectina (dos moléculas de almidón, es decir, carbohidratos complejos). El almidón funge como una forma de almacenamiento de energía para las plantas, por lo que cuando se consumen alimentos de origen vegetal, el almidón es hidrolizado para que después el cuerpo utilice las moléculas de glucosa en forma de energía. Por otro lado, la inulina es un polisacárido de tipo fructano que se puede encontrar en una gran cantidad de especies vegetales, y es considerada como un agente probiótico (microorganismo vivo que, de ser ingerido en las cantidades adecuadas, tiene varios beneficios para la salud) (Lara, M. *et al.*, 2017).

Lignocelulósica: está formado a partir de la celulosa (polímero lineal de cadena larga hecha por la forma cíclica

de la glucosa, cabe mencionar que la celulosa es la materia prima más abundante), hemicelulosa (mezcla de diversos azúcares producidos en la masa vegetal) y lignina (es uno de los principales componentes de la pared celular formada por polímeros de diversos orígenes), los cuales, son tres diferentes tipos de polímeros (Afanasjeva, N. *et al*., 2017).

Clasificación de la biomasa por su origen:

Natural: esta se produce en los ecosistemas naturales, sin la intervención humana. Es importante mencionar que, si bien hay elementos que podrían ser utilizados como la leña, no es posible seleccionar todo tipo de biomasa, ya que se puede llegar a generar una desertización, a afectar las actividades económicas de un sector de la población y a un aumento de la presión sobre los ecosistemas naturales (Combustibles Aragón, 2016).

Residual (sólida, líquida): abarca los residuos provenientes de actividades humanas, se puede generar biomasa secundaria de la agricultura, silvicultura, ganadería e inclusive residuos sólidos urbanos (RSU). Este tipo de biomasa presenta ciertas ventajas tales como la reducción de contaminación, así como la prevención de incendios, ya que se tiene más control de los restos de tallos y hojas tras un cultivo (rastrojos). Además, existe una reducción en el espacio de los vertederos gracias a la incineración de una parte de los residuos (Universidad de Murcia, 2022).

Cultivo Energético: consisten en cultivos de diferentes tipos de plantas, escogidas cuidadosamente de acuerdo con el tipo de suelo con el que se cuente para su crecimiento, siendo desarrollados con el único objetivo del aprovechamiento energético, ya sea de tipo forestal, acuático o agrícola. Se utiliza la producción parcial o total en forma de materia prima que sirva para la generación de energía. Es importante mencionar que aquellos que son obtenidos en estado líquido son empleados como carburantes en motores de combustión interna (motores donde parte de la energía que se libera para la quema del combustible se ve transformada en movimiento) (Nava, F. & Doldán, X., 2014).

Clasificación de la biomasa por su estado de agregación:

Sólido: abarca la biomasa obtenida de podas o residuos agrícolas y forestales, tales como la madera, paja, subproductos de naturaleza agrícola, residuos agroindustriales (como serrín o huesos de frutos o vegetales) o de cultivos energéticos.

Líquido: proveniente de residuos industriales, residuos ganaderos y aguas residuales urbanas. Los biocombustibles del tipo líquido tienen una mayor aplicación, tales como el bioetanol y el biodiesel. El primero está formado por azúcares y cereales, teniendo que pasar por procesos de obtención del azúcar, uno de fermentación y finalmente uno de destilación. Por otro lado, para el biodiesel, el alcohol es su fuente de producción, teniendo que añadirle aceite, se somete a reactores de esterificación y transesterificación, un acondicionamiento y una separación de sales.

Gaseoso: se basa en la combustión de materiales que se pueden encontrar en vertederos de residuos sólidos urbanos (RSU), los cuales son el resultado de la degradación anaerobia de la materia orgánica, se componen de una mezcla de metano y dióxido de carbono (Aguirre, A., 2012).

3. Clasificación de los biocombustibles por su generación:

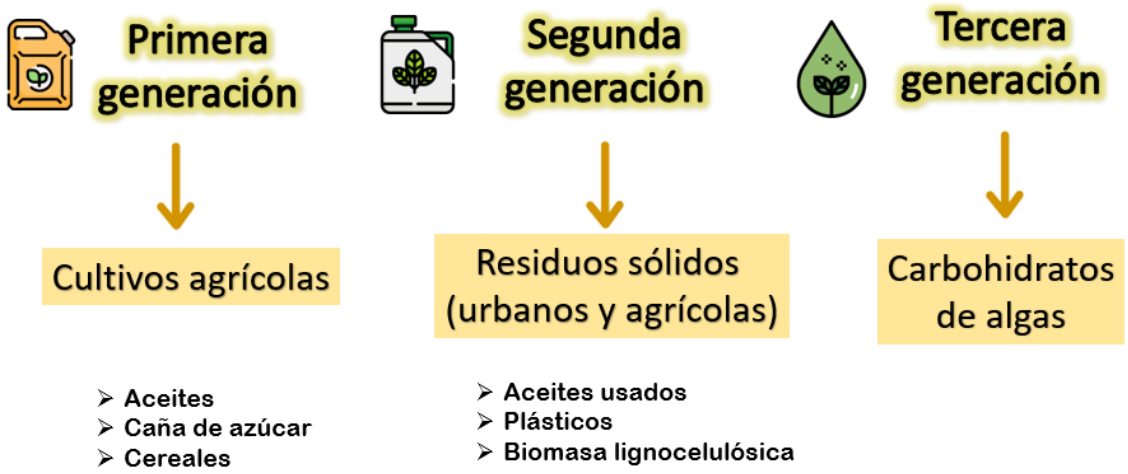


Figura 1. Esquema Generaciones de Biocombustibles.
Elaboración propia basado en esquema de la organización AOP. Autoría propia.

De acuerdo con la fuente de donde se genera el biocombustible se agrupa en diferentes clases, denotándose como "generaciones" de acuerdo con las materias primas involucradas en la obtención de la biomasa, quedando como resultado las siguientes cuatro clasificaciones (Burgos, F., 2015):

Biocombustibles de primera generación: se basan en cultivos agrícolas en hilera, azúcares, almidón, oleaginosas, grasas animales y aceites vegetales; empleando tecnologías convencionales como la fermentación para azúcares y carbohidratos, la transesterificación para aceites y grasas, dicho proceso consiste en la reacción de un aceite o grasa con un alcohol con ayuda de un catalizador, cuyo propósito es generar ésteres y glicerol; así como la digestión anaerobia para desperdicios orgánicos. Estas tecnologías utilizan materias primas, mediante las cuales se obtiene etanol, metanol y n-butanol (derivados del azúcar), biodiésel y biogás obtenidos de aceites y desperdicios orgánicos. Cabe mencionar que, para la obtención de cada uno de los productos anteriores, se debe recurrir a diferentes procedimientos (Salinas, E. & Gasca, V., 2009).

Dos de las principales ventajas que presentan los biocombustibles de primera generación son la facilidad de procesamiento y el hecho de que no hay impacto neto para el dióxido de carbono de la atmósfera, ya que son bajas las emisiones de efecto invernadero. Por otro lado, la mayor desventaja es la desviación de recursos alimenticios para la producción de biocombustibles, es decir, implementar los recursos alimenticios en la materia energética, además de un consumo elevado de agua dulce y costos altos tanto de producción como de materia prima, dentro de la que destacan maíz, aceite de colza, soya, girasol, aceite crudo de palma y piñón (Salinas, E. & Gasca, V., 2009).

Biocombustibles de segunda generación: tienen como base residuos agrícolas y forestales compuestos por celulosa (siendo algunos de estos el bagazo de la caña de azúcar, la paja de trigo, el aserrín, hojas, etc.), es decir, estos constan de materiales no alimentarios. Mediante procesos de una mayor complejidad, siendo en comparación con los de primera generación, se busca la fabricación de metanol, etanol, biodiesel, gas de síntesis, etc. Dentro de estos procesos podemos encontrar la sacarificación, la fermentación y finalmente el proceso Fischer-Tropsch, en el que, a partir del

gas de síntesis (H_2+CO), se generan largas cadenas de hidrocarburos. Las ventajas de este proceso son principalmente el hecho de que el producto obtenido no cuenta con nitrógeno, azufre, ni olor, además de no verse involucrado en el sector alimenticio. Sin embargo, tienen como desventaja sus destacadas emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con las otras generaciones (Muñoz, C., 2021).

Biocombustibles de tercera generación: también conocidos como "Combustibles Avanzados" se generan a partir de plantas genéticamente modificadas. Este proceso consiste en un cambio estructural de fuentes lignocelulósicas a celulósicas mediante tecnología de biorefinería, produciendo así, una mayor cantidad de celulosa y de aceite.

Biocombustibles de cuarta generación: esta generación sigue contando con la modificación genética, pero se llevará a cabo en materia prima. El mayor avance se verá reflejado en la reducción de emisiones de carbono a través de microorganismos que lo transformen en azúcar, por ello poseen el nombre de "Biocombustibles de Carbono Negativo". Cabe mencionar que esta generación aún se encuentra en vía de desarrollo, específicamente en la planeación teórica, pues aún no ha sido desarrollada para su implementación (Aydogan, H. *et al*., 2014).

4. Comparativa Biocombustibles vs Combustibles Fósiles

En la tabla 1, se presenta una comparativa de las propiedades del biodiésel en relación al diésel, entre las que destacan el punto de obstrucción del filtro en frío, (CFPP, Cold Filter Plugging Point), cuyo valor determina la temperatura límite de uso de un combustible y el valor calorífico por unidad de masa y volumen, el cual representa la energía que se produce (MidChem México. (s.f)). Como puede observarse, las diferencias son mínimas.

Tabla 1. Biocombustibles vs Combustibles Fósiles.

Propiedad/Combustible	Diésel	Biodiésel
Densidad a 15 °C (g/cm^3)	0.82-0.86	0.875-0.885
Viscosidad a 20 °C $\left(\frac{mm^2}{s}\right)$	3-8	6-9
CFPP verano (°C)	>5	>-5
CFPP invierno (°C)	-20	>-15
Valor calorífico $\left(\frac{MJ}{kg}\right)$	42.9	37.2
Valor calorífico $\left(\frac{MJ}{dm^3}\right)$	35.6	32.9
Longitud de la cadena de carbono (nro. de carbonos de átomo)	11-20	16-18
Punto de inflamabilidad (°C)	>55	>55
Eficiencia a 1200 rpm	38.2	40.7

Elaboración propia basada en el artículo Technological Innovations in Major World Oil Crops. Autoría propia.

5. Legislación Mexicana y Tratados Internacionales Referente a Biocombustibles

Dada la creciente implementación de los biocombustibles como una energía renovable, desde principios de este siglo las leyes relacionadas con esta fuente de energía han surgido progresivamente. Dentro de este grupo, algunas de las más relevantes son las siguientes:

- Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos:
  Con vigencia a partir del 1 de febrero del año 2008, esta tiene como propósito el desarrollo de

bioenergéticos a partir de algas y de procesos biotecnológicos y enzimáticos del campo mexicano, además de actividades forestales y agropecuarias. Dichas acciones no sólo resultarían en una reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, sino que también favorecerían al sector rural en el ámbito económico. Para que estas acciones sean llevadas a cabo correctamente no sólo se requiere el esfuerzo del sector privado, sino también de los gobiernos municipales, estatales, el del Distrito Federal (hoy en Día Ciudad de México) y el federal (Cámara de Diputados del H. Congreso De La Unión, 2008).

- Ley de Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética:
  Con vigencia a partir del 28 de noviembre de 2008, esta ley se encarga de distribuir las contribuciones que realizarán los diferentes sectores para mejorar la implementación de energías renovables a lo largo de la nación. La distribución se muestra a continuación (Cámara de Diputados del H. Congreso De La Unión, 2013).
    - La Secretaría tiene diversas funciones que abarcan las energías renovables, como el ser la responsable de generar un plan a corto, mediano y largo plazo para su desarrollo. Además, en conjunto con la Secretaría de Economía, tiene por objetivo definir medidas y políticas que fomenten el uso de energías renovables.
    - La Comisión Reguladora de Energía cumple con su deber al proporcionar metodologías que determinen la capacidad de generación de fuentes renovables que alimentarán al Sistema Eléctrico Nacional.
    - La Secretaría de Energía debe encargarse de promover acciones para aprovechar las energías renovables, así como facilitar el acceso a las zonas de explotación.
- Ley de Transición Energética:
  Con vigencia a partir del 24 de diciembre de 2015, esta ley busca implementar en mayor medida las energías renovables en la industria eléctrica, en conjunto con una mejora en la eficiencia energética. Para ello se pretende una mayor promoción de todas las fuentes consideradas renovables, reduciendo las emisiones contaminantes para así cumplir con la Ley General de Cambio Climático (Cámara de Diputados del H. Congreso De La Unión, 2015).
- Ley de la Industria Eléctrica:
  Con vigencia a partir del 11 de agosto del 2014, esta ley pretende regular y planificar el Sistema Eléctrico Nacional, promoviendo el desarrollo sustentable para reducir la emisión de contaminantes, esto sin perder una operación continua, eficiente y segura (Cámara de Diputados del H. Congreso De La Unión, 2014).
- Ley General de Cambio Climático:
  Con vigencia a partir del 6 de junio del 2012, esta ley busca la aplicación de políticas de adaptación al cambio climático que en conjunto sean un contrapeso a las emisiones de gases de efecto invernadero, esto con el objetivo de garantizar el derecho a un medio ambiente sano. Esto no sólo implica grandes metas como alcanzar una

economía sustentable y la cooperación para el cumplimiento del Acuerdo de París, en el que se busca limitar el aumento de la temperatura a 1.5 °C para el año 2030, sino que propone llevar a cabo acciones que se podrían considerar como pequeñas para cumplir el objetivo, pero con un impacto que podría ser significativo, como el fomentar la educación con respecto a la relevancia del tema ambiental a la población mexicana (Cámara de Diputados del H. Congreso De La Unión, 2012).

Fue hasta la década de 1990 cuando México formó parte de acuerdos relacionados a los biocombustibles de gran relevancia, siendo los siguientes algunos de estos:

- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático:
  Consiste en un organismo de la Organización de las Naciones Unidas fundado en el año 1992, aunque entró en vigor hasta el año 1994. Su propósito consistió en estabilizar las concentraciones de gases de efecto invernadero, al menos lo suficiente para que los ecosistemas se adaptaran a este de forma natural (INECC, 2021).
- Protocolo de Kioto:
  Creado el 11 de diciembre de 1997 y aprobado en el año 2005, fue realizado con el objetivo de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero a través de políticas y medidas de mitigación. Este tuvo como aspecto relevante el cargar una mayor responsabilidad en 36 países desarrollados y la Unión Europea (Naciones Unidas (s.f)).
- Acuerdo de París:
  Adoptado en 2015 y puesto en vigor en 2016, marcó como principal objetivo el que la temperatura de la tierra no alcanzara un aumento de 2 °C, sino que se limitara únicamente a 1.5 °C, para posteriormente alcanzar el equilibrio a mediados del siglo. Una de sus características principales fue el apoyo económico y tecnológico que las potencias mundiales aportarían a los países en vía de desarrollo (Naciones Unidas (s.f))
  Agenda 2030:
  Adoptada en el año 2015, se acordaron 17 objetivos con 169 metas referentes a los ámbitos económico, social y ambiental. El número 7 de estos objetivos recibe el nombre de “Energía Asequible y No Contaminante”, en el cual se menciona la importancia de la inversión en energías renovables para que toda la población tenga acceso a energía limpia para el año 2030, siendo una de estas los biocombustibles (Naciones Unidas (s.f))

6. Desarrollo Tecnológico y Patentes

Estados Unidos de América es el líder a nivel internacional en la producción de biocombustibles, siendo responsables del 40% de la creación de este en el año 2019; gracias al temprano desarrollo que tuvo la nación, fue posible introducirlos al mercado estadounidense a finales del siglo XIX (Álvarez, C., 2009).

En el año 1896, Henry Ford utilizó etanol como combustible en su primer automóvil, aunque cuando se percató del mayor contenido energético por unidad de volumen de los combustibles fósiles, optó por cambiar a estos. Esto derivó en una completa utilización de los combustibles fósiles durante el siglo XX en los Estados Unidos, y fue hasta la llegada de la “Ley del Impuesto a la Energía” que fueron aprobadas muchas más leyes relacionadas a los biocombustibles.

Respecto al etanol, se obtuvieron avances tecnológicos en la primera generación para obtener el biocombustible, utilizando grano

de maíz como materia prima en las dos tecnologías principales:

- La primera que lleva por nombre "molienda seca", se muelen los granos de maíz para producir harina, añadiendo enzimas y agua para cocerla. Por último, se añade levadura con el objetivo de lograr la fermentación de la harina para obtener etanol.
- En la segunda tecnología denominada "molienda húmeda", se inicia por cocer el grano de maíz en agua caliente para lograr la separación del almidón y la proteína. La parte que contiene el almidón es molida y el almidón es separado para ser secado y posteriormente es empleado en la obtención de azúcares que serán fermentados, obteniendo finalmente el etanol.

En lo que respecta al biodiesel, se utiliza tecnología de primera generación en la que se transesterifica con metanol al aceite vegetal refinado para obtener este biocombustible, además de glicerina como subproducto.

Algunos acontecimientos recientes importantes en Estados Unidos de América sobre biocombustibles son (Álvarez, C., 2009):

- 2001: La empresa "GreenFuel Technologies" patentó un proceso de secuestro de CO_2 y producción de biodiesel basado en algas verdes.
- 2005: Se inició la aplicación de la Ley Política Energética, en la cual se establece una norma sobre biocombustibles, haciendo obligatoria la incorporación de 7.5 mil millones de galones para el 2012.
- 2006: Inició la implementación de incentivos para los compradores de automóviles que trabajen con este tipo de combustibles (o cualquier energía renovable).
- 2009: Se realizó una inversión de 150 mil millones de dólares en investigación para el desarrollo de tecnología energética que aplique diferentes energías alternativas.

El segundo puesto de mayor producción de biocombustibles se le atribuye a Brasil, país que inició su implementación entre los años 1905 y 1925 con el intento de incorporar etanol en los vehículos. Incluso se llegó a crear una ley que pedía como requisito la existencia de un 5% de etanol en la nafta importada (mezcla de hidrocarburo líquido inflamable obtenido de la destilación de petróleo crudo), porcentaje que aumentó para el año 1938.

A pesar de haber mostrado un gran crecimiento en aquellos años, la caída del precio del petróleo, derivada de la Segunda Guerra Mundial, representó una importante obstrucción en el progreso de la implementación de los biocombustibles. Décadas después, el panorama cambió con la crisis mundial petrolera de 1975, lo que llevó al país a crear el "Programa Nacional del Alcohol" cuyos dos objetivos principales eran la introducción del combustible de gasolina con alcohol y la invención de motores que podían trabajar mediante la quema de alcohol hidratado y mezclas de gasolina con alcohol anhidro.

En respuesta de lo anterior, en 1977 la Universidad Federal de Ceará logró crear biodiesel mediante aceite de semilla de algodón, además de dos diferentes tipos de etanol a partir de la fermentación del jugo de caña de azúcar:

- El primer tipo de etanol, de nombre "anhidro", cuenta con una composición del 100% de etanol y se empleó en un 25% en la gasolina.
- El segundo tipo de etanol, llamado "hidratado", cuenta con una composición del 96% de etanol y un

4% de agua, fabricado con el propósito de la implementación en motores de ciclo Otto en automóviles modificados.

En los últimos años, los acontecimientos de mayor relevancia en Brasil, relacionado a los biocombustibles, han sido los siguientes (Álvarez, C., 2009):

- 2003: En instalaciones brasileñas, en cooperación con compañías extranjeras como Volkswagen y Chevrolet, se inició la fabricación de automóviles que pueden funcionar a partir de gasolina con etanol anhidro, cuya fracción del combustible puede ir del 0 al 100%, tecnología que recibió el nombre "flex-fuel".
- 2007: Se detuvo la fabricación de automóviles potenciados exclusivamente por etanol debido a que no es posible mezclarlo con la gasolina como lo son los autos flex-fuel, los cuales dominarán el mercado en un futuro próximo.
- 2008: La Empresa Brasileira de Aeronáutica desarrolló la primera aeronave que trabaja exclusivamente con etanol, por lo que no puede trabajar con mezcla de gasolina y etanol, sino que lo hace únicamente con una de las dos por separado.

Dentro de los avances tecnológicos en materiales o procedimientos, las patentes ofrecen una nueva forma de desarrollar o solucionar alguna técnica ya implementada, por lo que la inclusión de las patentes en materia de biocombustibles, es de suma importancia para indagar en el desarrollo tecnológico de estos mismos, por lo que los datos recopilados dentro de las páginas de internet Google Patents y Patent Scope muestran el desarrollo tecnológico a través del tiempo, desde el inicio, el crecimiento y hasta fechas más recientes de los biocombustibles.

La primera patente registrada en la historia, de acuerdo con Google Patents, tuvo lugar en el periodo de 1900 a 1909, década en la que se contó solamente con una publicación, mientras que para el año 2015 se alcanzó la cifra máxima de publicaciones, siendo esta de 9,752 patentes. Es importante tomar en cuenta que, desde que se desató la pandemia del año 2020 (8,396 patentes registradas), no se tuvo una caída tan radical en la investigación de biocombustibles como se esperaría, lo que se comprueba al comparar con el año 2019 (8,054 patentes registradas), año previo a la situación de contingencia. Cabe mencionar que hasta el año en curso (2024) se cuenta con un repertorio de 2,108 proyectos de acuerdo con el sitio de Google Patents, de las cuales el mayor porcentaje pertenece a PCT (Patent Cooperation Treaty) con el 41% de patentes en inglés y el 32% en español (Google Patents, 2024).

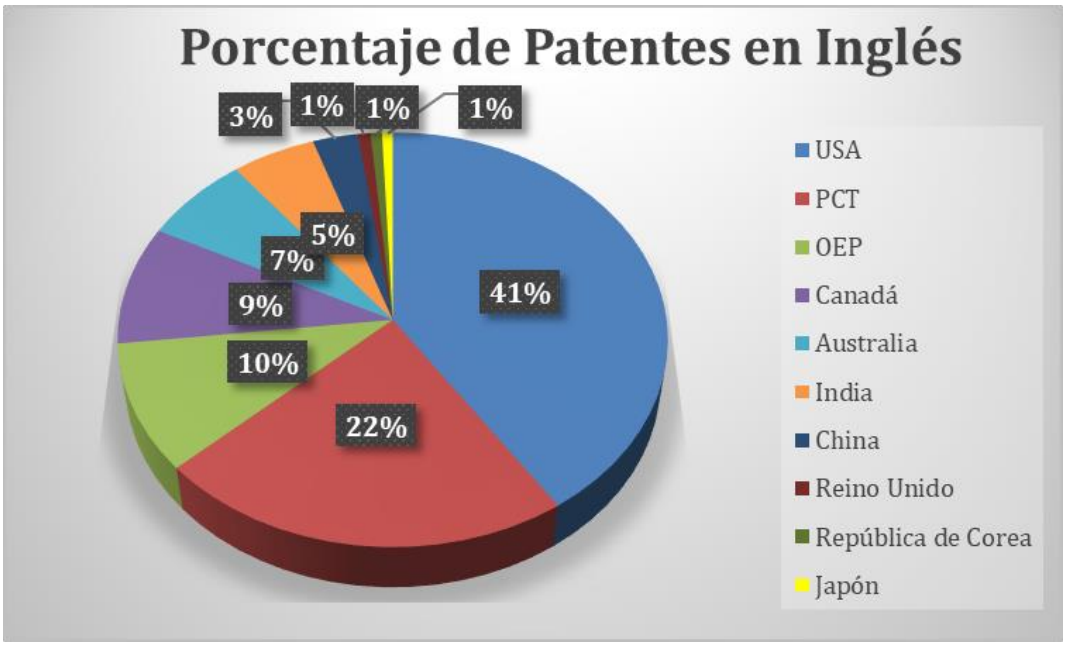


Figura 2. Patentes en inglés, distribuidos en gráfico pastel.
Elaboración propia con datos recuperados de Patentscope. Autoría propia.

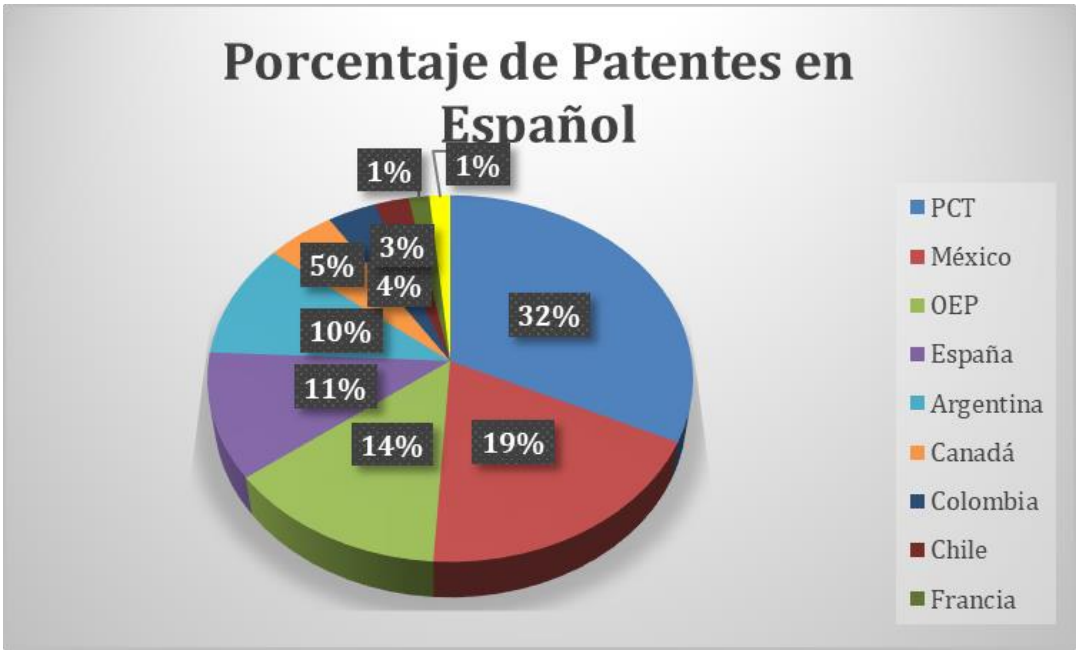


Figura 3. Patentes en español, distribuidos en gráfico pastel.
Elaboración propia con datos de Patentscope. Autoría Propia.

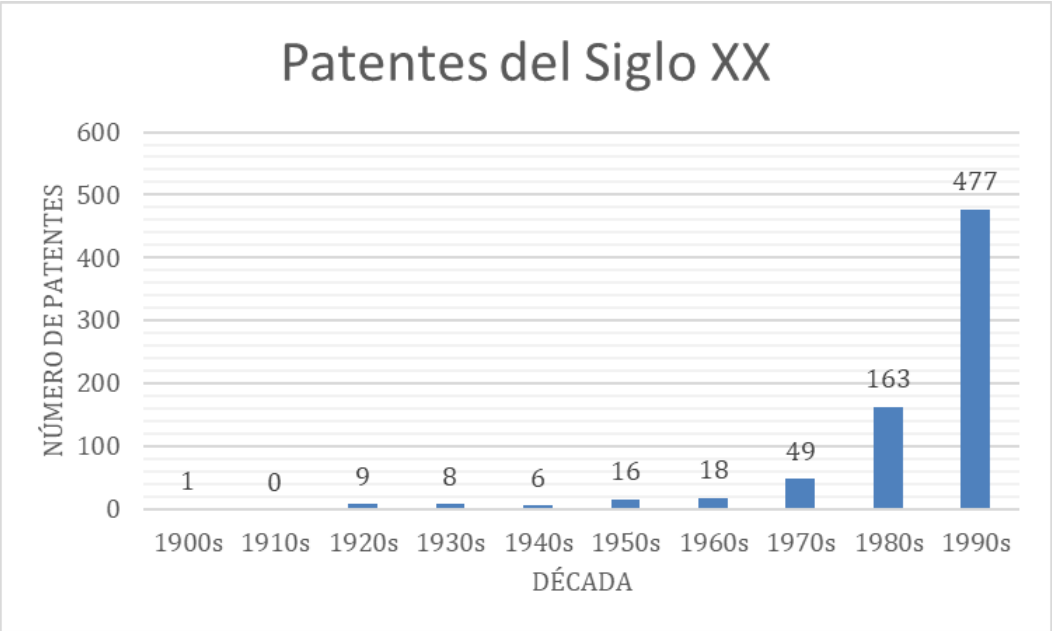


Figura 4. Gráfica de barras del número de patentes del siglo pasado.
Elaboración propia con datos recuperados de Google Patents. Autoría Propia.

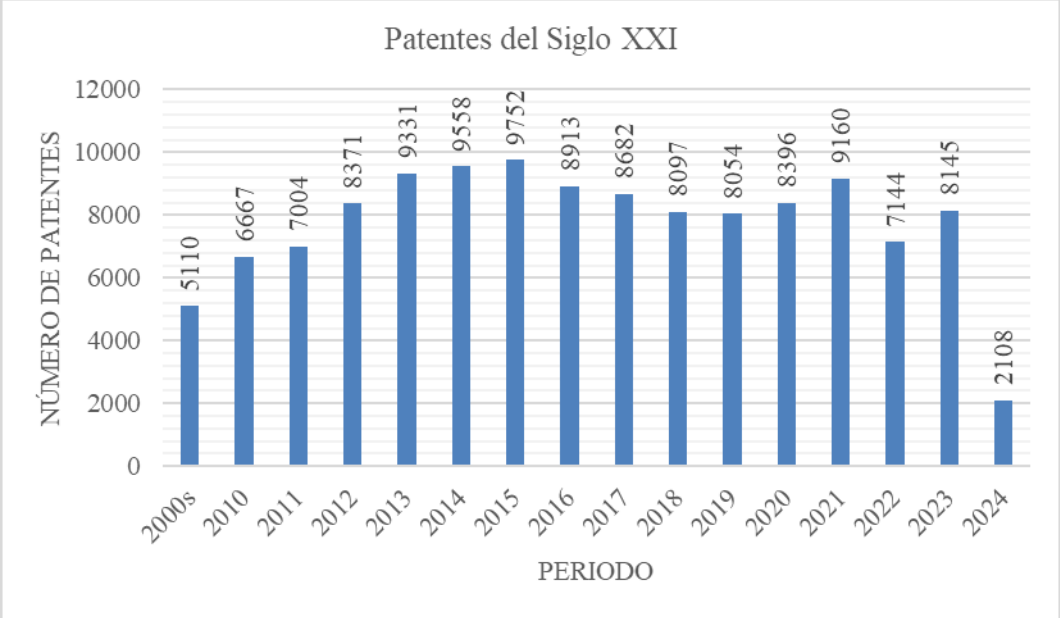


Figura 5. Gráfica de barras del número de patentes del siglo pasado.
Elaboración propia con datos recuperados de Google Patents. Autoría Propia.

Para tener otra idea sobre la situación de los biocombustibles, se tienen los artículos que han sido publicados en la página de nombre “Elsevier”. Sin embargo, esta página sólo resulta parcialmente complementaria a lo visto en Google y Patentscope, ya que sólo muestra 54 artículos acerca del tema, al realizar la búsqueda en inglés, encontrando también 45 resultados al llevar a cabo la búsqueda en español.

Ahora bien, al inspeccionar los temas que se abarcan en estas publicaciones, varias de estas llegan a abarcar a los biocombustibles de forma secundaria, o los confunde la aplicación de enzimas en la industria, como lo es el caso del artículo que tiene por nombre “Optimización de la producción de xilanasas con celulasas bajas en *Fusarium solani* mediante una fermentación del estado sólido utilizando diseño experimental estadístico”.

Dado lo anterior, habría que contabilizar cuántos de ellos realmente tienen algo importante por decir, como lo es el caso del artículo “Efecto de los componentes del biodiesel en su desempeño de lubricación”.

Por último, la cantidad de artículos en español que fueron publicados en los últimos años no resulta ser alentador, ya que entre 2014 y 2022 sólo han visto la luz 30 investigaciones, de las cuales, únicamente cuatro han sido de los últimos cinco años. En el caso de aquellas hechas en inglés son un poco más alentadoras, pues en los últimos cinco años han sido publicadas 31 investigaciones, aunque sigue siendo una cantidad muy baja con respecto a las otras dos páginas que fueron analizadas.

7. Aplicaciones

En la siguiente tabla se mencionan cinco de los principales biocombustibles que existen, explicando algunas de sus características, la forma en que se encuentran para su uso, y finalmente, algunas de las aplicaciones que se les ha ido encontrando.

Tabla 2. Aplicaciones de los biocombustibles.

BIOCOMBUSTIBLE	APLICACIÓN
Bioetanol C_2H_5OH	El bioetanol suele utilizarse en motores de gasolina (en forma de mezcla) debido a su alto octanaje, pero tiene la limitante de tener bajo nivel de cetano, por lo que no es recomendable su uso en los motores diésel. Cabe mencionar que este combustible se mezcla con la gasolina en un 85%, igualmente su función como oxigenante es de un 6% para las gasolinas. En Brasil se ha ido implementando cada vez más el bioetanol como sustituto de la gasolina para los vehículos Flex Fuel. Las principales características que presenta el bioetanol es que, además de ser un sustituto de los derivados del petróleo, también sirve de apoyo para la disminución de las emisiones, aumenta el octanaje del combustible y principalmente brinda a la gasolina una combustión más limpia y eficiente gracias al contenido de oxígeno que tiene el bioetanol (Álvarez, C., 2009). Además, también puede ser empleado de las siguientes formas (Ortiz, M., 2017): ● Sistemas de cogeneración (sistema que produce calor y electricidad). ● Combustible para celdas mediante reacciones termoquímicas. ● Materia prima en la industria química. ● Generación de electricidad a través de combustión térmica.
Metanol CH_3OH	Presenta un nivel alto de octano y bajo de cetano, es un caso similar al del bioetanol, ya que el metanol también tiene inconvenientes en cuanto al uso de los motores diésel. En dicho caso, el uso de bujías es indispensable, así como el mezclado del metanol con combustible diésel, mientras que dentro de los motores Otto, su uso es relativamente fácil (Álvarez, C., 2009). Otras áreas de aplicación para este biocombustible son las siguientes (Stellman, J., 1998): ● Fabricación de plásticos. ● Líquidos embalsamadores. ● Impermeabilizantes. ● Barnices. ● Anticongelantes (sistemas de refrigeración de automóviles y uso en instalaciones hidroeléctricas y termoeléctricas). ● Fabricación de jabones textiles.
Biogás Mezcla de metano (CH_4: 40-70 %), dióxido de carbono (CO_2: 25-50 %) y en pequeñas porciones	La aplicación de mayor renombre de este biocombustible es la obtención de energía térmica en actividades domésticas como calentar agua, cocinar y generar iluminación. Es importante mencionar que los quemadores de gas requieren de alteraciones de bajo impacto para poder trabajar con biogás (específicamente mediante una alteración de la relación aire-gas.

de hidrógeno (H_2), nitrógeno (N_2), oxígeno (O_2) y sulfuro de hidrógeno (H_2S).	Los sistemas combinados de calor y electricidad (que buscan la generación de ambos) se ven potenciados por el biogás en lo que a eficiencia se refiere, además de no requerir un mantenimiento costoso. Se tiene contemplado que las celdas de combustible se conviertan en las plantas de energía a pequeña escala en un futuro no muy lejano, lo cual se debe a su eficiencia mayor al 60% y sus bajas emisiones. Como última aplicación, si este logra alcanzar una calidad parecida a la del gas natural, puede ser utilizado en vehículos que tengan una adaptación a dicho combustible, es decir, motores de combustión interna para gasolina y diésel. Sin embargo, para esta aplicación se cuentan con las siguientes limitantes (Gobierno de Chile Ministerio de Energía, 2011): ● Para permitir una autonomía razonable, el biogás debe ser purificado antes de su compresión. ● La conversión de los motores es costosa, además de que el peso de los cilindros hace menor la capacidad de carga de los vehículos. ● Finalmente, la red de abastecimiento del biogás no es la óptima.
Butanol ($C_4H_{10}O$)	En comparación con los combustibles alcohólicos, el butanol es el más complejo y venenoso. Es usado comúnmente como disolvente y es candidato para ser utilizado como combustible. Esta última aplicación se basa en la producción del combustible por medio de la fermentación de productos agrícolas o del petróleo crudo, por lo que puede ser utilizado como combustible en motores de combustión interna que funcionan con gasolina sin la necesidad de modificar el motor. El butanol se caracteriza por tener un mayor contenido energético y una presión de vapor menor, caso contrario con el etanol y el metanol (Aydogan, H. *et al*., 2014). Otras aplicaciones para este biocombustible son las siguientes (Stellman, J., 1998): ● Gomas. ● Aceites vegetales. ● Tintes. ● Productos químicos y farmacéuticos. ● Perfumes.
Biodiésel Ésteres de alquilo (metilo, propilo o etilo) de cadena larga	Es producido a partir de la combinación de aceites vegetales y grasas animales con alcoholes. El biodiésel no tiene niveles elevados de toxicidad, es utilizado para los motores de encendido por compresión, es decir, para motores de diésel. Es importante mencionar que el biodiésel se puede mezclar con el diésel en cualquier proporción, el más común es el B20 el cual contiene un porcentaje de 20% de biodiésel y el 80% de diésel de petróleo. Tanto el bioetanol como el biodiésel sirven como sustitutos o aditivos en las fuentes tradicionales de combustible, por ejemplo, aplicados en automóviles y autobuses, logrando aumentar la eficiencia del combustible y una disminución de las emisiones (Aydogan, H. *et al*., 2014). También cuenta con los siguientes usos (PETRO, 2021): ● Transporte. ● Producción de electricidad. ● Aditivos lubricantes.

Elaboración propia. Autoría Propia.

8. Perspectivas

Los biocombustibles han aumentado su producción en las últimas décadas dada la preocupación que genera el agotamiento de los combustibles fósiles, cuya tasa de decrecimiento supera su capacidad de abastecer un mundo que cada vez requiere más energía. Países como EUA, Brasil, Canadá y China han liderado la producción de biocombustibles en este periodo, lo que ha llevado a países menos industrializados como México, India, e incluso Bolivia a sumarse como segundos en la lista (Google Patents, 2024).

Hay diferentes aspectos que se deben de abarcar en cuanto a las perspectivas y oportunidades que esta transición brindaría.

En materia ambiental, la implementación de los biocombustibles conlleva a un escenario en el que disminuirían las emisiones de ciertos gases contaminantes (dióxido de carbono y óxidos de nitrógeno), aunque se piensa que al tomar en cuenta su desarrollo, y en general todo su ciclo de vida, la diferencia de emisiones es insignificante.

Desde una perspectiva energética, la cantidad de energía obtenida a partir de los biocombustibles ha ido en aumento, gracias a las nuevas investigaciones y procesos de producción, tales como la modificación genética de las plantas, cuyo tema aún sigue desarrollándose, no obstante, cabe mencionar que los valores caloríficos de masa y volumen, son aún menores en relación a los combustibles fósiles.

En el ámbito económico, la obtención de los combustibles fósiles resulta más atractiva, ya que la extracción de estos es más rápida y no se requiere una gran transformación del recurso, sino únicamente su separación de acuerdo con su octanaje. Los biocombustibles difícilmente habrían tenido oportunidad (económicamente hablando) contra los combustibles convencionales, pero las normativas han forzado la implementación de biocombustibles en cierto porcentaje en los combustibles convencionales. Además, la evolución tecnológica de los biocombustibles también ha supuesto una reducción en sus costos de producción (Energy GO, 2023).

En última instancia, se tienen los apartados social y geográfico. Por un lado, las tierras a utilizar para los cultivos energéticos tienden a ser de gran tamaño, sin mencionar que dichos terrenos son normalmente utilizados para la producción agrícola, reduciendo la cantidad de alimentos que serían destinados a la región. Por otro lado, la biomasa también puede ser obtenida de diferentes fuentes que en conjunto logran un equilibrio (Valdez, R., 2009).

9. Conclusiones

La economía global se basó en el petróleo desde el siglo XX, pues al ser un recurso de diversas aplicaciones y de fácil acceso, innovó la tecnología en su momento, y con ello, la vida. A pesar de un principio alentador, después de varias investigaciones, especialistas en diferentes campos llegaron a la conclusión de que este modelo no sería sostenible en un futuro no muy lejano al tratarse de un recurso finito. Es así que la única opción fue buscar alternativas tecnológicas que cubrieran la deficiencia de los hidrocarburos, siendo una de ellas los biocombustibles.

Los biocombustibles son una fuente de energía limpia producida a partir de la biomasa, pudiendo ser obtenida de la naturaleza, de cultivos y por actividades humanas. Dentro de la biomasa se puede encontrar principalmente del tipo oleaginosa, alcoholígena, amilácea y lignocelulósica, además de presentarse en estado líquido, sólido o gaseoso.

A lo largo del tiempo, han ido cambiando las fuentes de las que se obtienen los biocombustibles, al igual que la tecnología implementada para su desarrollo, por ello se clasifican en generaciones. En la primera se trabajaba con cultivos agrícolas y se utilizaban técnicas como la fermentación y la transesterificación. La segunda consiste en el uso de residuos agrícolas y forestales, empleando celulosa, siendo el objetivo de esta generación evitar interferir con la industria alimenticia. La evolución de la tercera generación consistió en una alteración genética de las plantas en las fuentes lignocelulósicas. Finalmente, la innovación de la cuarta generación es aplicar estas alteraciones en la materia prima y reducir aún más las emisiones de carbono.

Gracias a los avances que los principales promotores de los biocombustibles han logrado en los últimos 100 años, siendo los líderes de esto Estados Unidos y Brasil, se

puede ver un gran crecimiento de proyectos realizados en este sector desde la década de los 70’s, iniciando con ocho patentes en 1978 y alcanzando la importante cifra de 7934 para el año 2014, habiendo un lamentable descenso en los últimos tres años debido a la condición de salud global.

Si bien estos combustibles aún no son tan implementados como se desearía, debido a su competencia con los de tipo fósil, ya abarca una buena cantidad de áreas de aplicación dentro de las que se encuentran el transporte, productos químicos y farmacéuticos, productos de limpieza del hogar, fabricación de plásticos, entre otros.

A pesar de las desventajas de los biocombustibles en comparación con los combustibles fósiles, han mostrado ser competitivos, y si bien no son una solución que completamente podría destronar al actual recurso que mueve el mundo, se espera un escenario en el que, alcanzando una madurez tecnológica más sólida, tendrá un mayor impacto en sus aplicaciones, no sólo en ciertos países, sino que también a una mayor escala global.

10. Agradecimientos

Al Dr. David García Solórzano, profesor de la Facultad de Ingeniería UAEMéx por sus valiosas aportaciones en la guía del trabajo de investigación realizado.

11. Referencias Bibliográficas

Afanasjeva, N. et al. (2017). Biomasa Lignocelulósica. Parte 1: Transformación de biomasa. *Journal of Science with Technological Applications, 3*, 27-43.

Aguirre, A. (2012). Tipos de Biomasa. Recuperado de https://gstriatum.com/2013/02/13/tipos-de-biomasa-2/

Álvarez, C. (2009). Biocombustibles: desarrollo histórico-tecnológico, mercados actuales y comercio internacional. Recuperado de http://www.economia.unam.mx/publicaciones/econinforma/pdfs/359/04carlosalvarez.pdf

Aydogan, H. et al. (2014). The use and future of biofuels. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/278300294_The_use_and_future_of_biofuels

Bioplat. (2022). Tipos de Biomasa. Recuperado de https://bioplat.org/biocircularidad/#1710161499837-5a172803-5935

Burgos, F. (2015). La biomasa como fuente de energía sustentable. Recuperado de https://www.forestal.uach.cl/manejador/resources/biomasa.pdf

Cámara de Diputados del H. Congreso De La Unión. (2008). LEY DE PROMOCIÓN Y DESARROLLO DE LOS BIOENERGÉTICOS. Recuperado de https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LPDB.pdf

Cámara de Diputados del H. Congreso De La Unión. (2012). LEY GENERAL DE CAMBIO CLIMÁTICO. Recuperado de https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCC.pdf

Cámara de Diputados del H. Congreso De La Unión. (2013). LEY PARA EL APROVECHAMIENTO DE ENERGÍAS RENOVABLES Y EL FINANCIAMIENTO DE LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA. Recuperado de https://www.cre.gob.mx/documento/3870.pdf

Cámara de Diputados del H. Congreso De La Unión. (2014). LEY DE LA INDUSTRIA ELÉCTRICA. Recuperado de https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LIElec.pdf

Cámara de Diputados del H. Congreso De La Unión. (2015). LEY DE TRANSICIÓN ENERGÉTICA. Recuperado de https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LTE.pdf

Combustibles Aragón. (2016). Tipos de Biomasa. Recuperado de https://combustiblesaragon.es/tipos-de-biomasa/

Daily History. (2009). How did Edwin Drake create the World's first oil well. Recuperado de https://www.dailyhistory.org/index.php?title=How_did_Edwin_Drake_create_the_World%27s_first_oil_well&mobileaction=toggle_view_desktop

Energy GO. (2023) ¿Qué son los combustibles fósiles? https://blog.energygo.es/glosario/definicion-combustibles-fosiles/

Fernández, L. et al. (2012). Producción de Biocombustibles a partir de Microalgas. *Ra Ximhai: Publicación Cuatrimestral de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable, 8*, 101-115.

Gobierno de México. (2015). El cártamo, planta multifacética. Recuperado de https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/el-cartamo-planta-multifacetica

Gobierno de Chile Ministerio de Energía. (2011). Manual de Biogás. Recuperado de https://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf

Google Patents. (2024). Google Patents search. Recuperado de https://patents.google.com/?q=(biofuels)&before=publication:20241231&after=publication:20240101&sort=old

INECC. (2021). Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Recuperado de https://cambioclimatico.gob.mx/convencion-marco-de-las-naciones-unidas-sobre-el-cambio-climatico/#:~:text=La%20CMNUCC%20entr%C3%B3%20en%20vigor,peligrosas%20en%20el%20sistema%20clim%C3%A1tico.

Lara, M. et al. (2017). Tecnología Química. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2224-61852017000200016&script=sci_arttext&tlng=pt

Maffeo, A. (2003). La Guerra de Yom Kippur y la crisis del petróleo de 1973. *Relaciones Internacionales, 25*, 2-6.

MidChem México. (s.f). Operabilidad a Bajas Temperaturas. https://www.mcchemical.com/es/aditivos-para-combustible/componentes-y-aditivos-diesel/operabilidad-en-bajas-temperaturas

Muñoz, C. (2021). Balance de energía en proceso Fischer-Tropsch utilizando gas de síntesis. Recuperado de http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/4931

Naciones Unidas. (s.f). ¿Qué es el protocolo de Kyoto? Recuperado de https://unfccc.int/es/kyoto_protocol

Naciones Unidas. (s.f). El Acuerdo de París. Recuperado de https://unfccc.int/es/acerca-de-las-ndc/el-acuerdo-de-paris#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20el%20Acuerdo%20de,4%20de%20noviembre%20de%202016.

Naciones Unidas. (s.f). OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE. https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/

Narváez, J. et al. (2017). OLEAGINOSAS (CANOLA, CÁRTAMO, GIRASOL, SOYA). Recuperado de http://www.consejagri.mx/images/PLANEACION%20AGRINAL%20MEX/CULTIVOS%20ESTRATEGICOS%20BASICOS/Basico-Oleaginosas.pdf

Nava, F. & Doldán, X. (2014). Cultivos Energéticos. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-54722014000100002

Ortiz, M. (2017). Reporte de Inteligencia Tecnológica "Bioetanol". Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/296708/IT_Bioetanol_01022018.pdf

Patent Scope. (2024). Patent Scope Search. Recuperado de https://patentscope.wipo.int/search/es/result.jsf?query=FP%3A%28biocombustibles%29&sortBy=-score

Petro. (2021). 5 Uses of Biofuels. Recuperado de https://www.petro-online.com/news/biofuel-industry-news/22/breaking-news/5-uses-of-biofuels/54813

Salinas, E. & Gasca, V. (2009). Los Biocombustibles. *El cotidiano, 157*, 75-82.

Stellman, J. (1998). Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Transporte. Recuperado de https://www.cso.go.cr/temas_de_interes/seguridad/enciclopedia/104-03.pdf

Terralia. (2002). La remolacha alcoholígena. Una nueva modalidad de un cultivo energético rentable. https://www.terralia.com/terralias/view_report?magazine_report_id=178

Universidad de Murcia. (2022). Biomasa. Recuperado de https://www.um.es/web/campussostenible/ambiental/energia/energias-renovables/biomasa#:~:text=La%20biomasa%20natural%20es%20la,podas%20naturales%20de%20los%20bosques.

Valdez, R. (2009). BIOCOMBUSTIBLES, PERSPECTIVAS, RIESGOS Y OPORTUNIDADES PERSPECTIVAS. *PERSPECTIVAS, (23)*, 41-53.

Villadiego, L. & Castro, N. (2020). Soja ¿la nueva palma de los biocombustibles? Recuperado de https://www.ecologistasenaccion.org/146565/informe-soja-la-nueva-palma-de-los-biocombustibles/