

Biocombustibles y su rol como fuente de energía

Beatriz Soledad¹ y Gloria María Aponte²

Centro de Investigación y Desarrollo de Ingeniería;

Universidad Católica Andrés Bello, Caracas

Av. Teherán, Edif. Laboratorios, Planta Baja. Urb. Montalbán, Caracas, Venezuela.

Telf. 0212-4074484. 1. bsoledad@ucab.edu.ve ; bsoledad@unimet.edu.ve

2. gapontef@ucab.edu.ve ; gloriam.aponte@gmail.com

Sub-tema: Ciencia, Tecnología, Innovación y Modernización hacia la Sociedad del Conocimiento

RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivo analizar la situación actual de los biocombustibles como fuente de energía. Para ello se utilizaron las principales fuentes especializadas que publican información en el área y se usaron las técnicas de revisión bibliográfica, análisis de contenido y análisis bibliométrico para procesar, analizar y obtener las principales tendencias de las publicaciones y de las solicitudes de patentes publicadas a nivel mundial en el periodo 2001-2021. Los principales resultados indican que las tecnologías para producir los biocombustibles se centran en optimizar las tecnologías en el uso y procesamiento de los desechos y residuos. Las publicaciones científicas y los desarrollos tecnológicos en el área de los biocombustibles presentan una tendencia creciente y los países con mayor cantidad de publicaciones y solicitudes de patentes en el área son China y Estados Unidos. Por otra parte, el uso de los biocombustibles como fuente de energía sostenible aún tiene un alto nivel de incertidumbre ya que la comunidad científica no tiene claro, aún, los posibles efectos ambientales a largo plazo que pudieran tener los biocombustibles.

Palabras clave: Biocombustibles, Energía, Mercado, Tendencias.

Biocombustibles y su rol como fuente de energía

Beatriz Soledad y Gloria María Aponte

Introducción

Durante el siglo XX, se observó que la temperatura superficial promedio de la Tierra aumentó 1,3 °C grados y se ha proyectado que en el siglo XXI puede elevarse entre 3,2°C y 7,2°C grados adicionales. Este aumento de la temperatura se ha atribuido a un aumento en el dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero liberados por la quema de combustibles fósiles, la deforestación, y otros procesos industriales (IPCC 2007, IPCC 2015). La demanda mundial de energía continuará aumentando durante el siglo XXI, y ha surgido un consenso generalizado de que las sociedades deben hacer la transición a una nueva base energética, dado que el combustible fósil no es renovable y su combustión conduce al calentamiento global. Aunque existen alternativas para el suministro eléctrico como por ejemplo la energía nuclear y la energía hidroeléctrica, existe una constante búsqueda de nuevas fuentes energéticas y en años recientes se ha puesto mucha atención en los biocombustibles, obtenidos a partir de biomasa que pueden emplearse como energías renovables en el transporte, la electricidad y la calefacción.

Los biocombustibles incluyen compuestos sólidos, líquidos y gaseosos (como por ejemplo el biocarbón, el etanol, el biodiesel y el biogás). El biocarbón ha surgido con éxito como un biocombustible sólido para abordar las preocupaciones por la emisión de gases de efecto invernadero (Dutta, Garipey, Raghavan, y Vijaya, 2015). En cuanto a los biocombustibles líquidos, se encuentran el biodiésel y el etanol como sus principales exponentes, y entre los gaseosos, el biogás. El biodiesel es un sustituto del diésel y se produce por transesterificación (reacción de un triglicérido con un alcohol para formar ésteres y glicerol) de aceites vegetales, aceites residuales y grasas; el biodiesel puede servir como un sustituto completo del diésel si se efectúan modificaciones menores al motor. El bioetanol, es obtenido de la fermentación del azúcar o del almidón y se emplea como sustituto de la gasolina y puede ser utilizado como sustituto completo en los llamados vehículos de combustible flexible.

Dada la problemática del cambio climático y a la posibilidad de utilizar diferentes tipos de energía, en los últimos años, la política energética internacional ha ido cambiando de combustibles fósiles a otros tipos de energía, dentro de la que se encuentran los combustibles renovables. En Estados Unidos de América, por ejemplo, se han realizado diversas investigaciones con respecto a las políticas de los biocombustibles siendo un argumento clave a favor de la producción de estos, que es un camino renovable hacia la independencia energética. Sin embargo, los insumos utilizados en la producción de materias primas para biocombustibles, principalmente fertilizantes y nutrientes, no son renovables, por lo cual es importante revisar cuán renovables son los actuales biocombustibles de origen vegetal. (Barrowclough y Geyer, 2015).

Debido al incremento en el uso de biocombustibles a nivel mundial, en este trabajo se presentará una revisión de los diferentes tipos existentes en la actualidad, las tecnologías empleadas para su obtención, la evolución de estas tecnologías, el mercado de los mismos y los principales desafíos ambientales en su producción.

Metodología

Para realizar este trabajo se utilizó la técnica de la revisión bibliográfica para recuperar los documentos más relevantes relacionados con las tecnologías y el mercado de los biocombustibles. Se aplicó la técnica de análisis de contenido para interpretar la información relacionada con el tema en estudio. En la segunda fase del estudio se aplicó la técnica de análisis bibliométrico para obtener las tendencias de investigación y desarrollo de tecnologías relacionadas con biocombustibles. Para ello se utilizó la base de datos *Lens.org* para buscar las publicaciones y las solicitudes de patentes publicadas en el período 2001-2021. Se tomaron en cuenta solo los artículos de investigación y en el caso de las patentes, las solicitudes publicadas en dicho periodo. Se utilizaron los campos Título, Resumen, Palabras Claves y Campo de Estudio para los artículos de investigación; mientras que para las solicitudes de patentes se usaron los campos: Título, Resumen y Reivindicaciones. Las palabras claves utilizadas para realizar ambos tipos de búsquedas fueron todas aquellas que caracterizan al tema en estudio: biocombustibles, bioetanol, biobutanol, biodiesel, bioéteres.

Tecnologías para producir los biocombustibles

En las últimas décadas ha aumentado el interés en la producción de compuestos químicos a partir del residuo de biomasa, y su uso en la obtención de biocombustibles es esencial para reducir el consumo de combustibles fósiles.

Se están investigando y desarrollando un amplio rango de tecnologías para la obtención de estos compuestos. En el caso de los biocombustibles de primera generación (etanol, biodiesel y biogás), las tecnologías convencionales emplean alimentos y cultivos forrajeros, desechos de alimentos y aguas residuales. Los biocombustibles de segunda generación son obtenidos de biomasa lignocelulósica, tales como residuos de cultivos alimentarios como por ejemplo tallos, hojas y cáscaras y a partir de cultivos no alimentarios como hierbas, bambú, árboles y algas para producir biodiesel, etanol, biogás e hidrógeno. Los biocombustibles de la tercera generación se producen a partir de biomasa de las algas o microalgas para generar etanol, bioetanol, biodiesel, biogás e hidrógeno. Por último, los biocombustibles de la cuarta generación, biodiesel, etanol, gas de síntesis, biometano (gas natural renovable obtenido a partir del tratamiento de residuos) y biobutanol, que se obtienen a partir de las algas y otros microorganismos modificados genéticamente (Ambaye, et al., 2021). La investigación de estas tecnologías se encuentra en diversas etapas de desarrollo. Varios de estos biocombustibles pueden reemplazar a la gasolina, el diésel y el gas natural, haciendo uso de poca infraestructura adicional y efectuando modificaciones en los vehículos, permitiendo la combinación de combustibles y facilitando la captación y adopción gradual del mercado.

El procesamiento para la transformación de la biomasa en las biorrefinerías ocurre bajo diferentes procesos (Zamora-Cristales, et al. 2017; Perona, 2017; Stafford, et al.

2019; Mendoza-Meneses, et al. 2021; Loganathan, y Kannan, 2022), entre los cuales se encuentran:

- a) **Conversión fisicoquímica:** Se utiliza para producir biocombustibles líquidos a partir de diferentes tipos de semillas, como por ejemplo girasol, canola y también se utilizan aceites utilizados para cocinar, grasas animales y aceite de algas. El aceite es sometido a un proceso de transesterificación para producir biodiesel, transformando los triglicéridos presentes en el aceite crudo en ácidos grasos y glicerol. El desperdicio sólido generado, se emplea en alimentos para animales.
- b) **Conversión biológica:** Involucra la acción microbiana (comúnmente levaduras, bacterias fúngicas y enzimas especializadas) para la descomposición de la materia orgánica para producir biocombustibles líquidos y biogás. Los procesos más relevantes son la fermentación y la digestión anaeróbica
 - b.1) **Fermentación:** En este proceso, las levaduras convierten azúcares en etanol y dióxido de carbono. Las fuentes más usadas son azúcar de caña y de maíz, y con menos frecuencia azúcar de trigo, centeno y remolacha
 - b.2) **Digestión anaeróbica:** Durante este proceso, el material orgánico es convertido a biogás, el cual es una mezcla de metano, dióxido de carbono y pequeñas cantidades de sulfuro de hidrógeno. Este proceso ocurre en biomasa con alto contenido de humedad.
- c) **Conversión termoquímica:** La biomasa es transformada rompiendo los enlaces para la producción de energía, biogás y bioaceites. La biomasa debe contener bajo contenido de humedad y altos valores de materia orgánica. Los tipos de tratamiento termoquímicos incluyen la gasificación, la pirolisis y la licuefacción. Estos procesos son más eficientes que los procesos biológicos cuando se comparan tiempos de reacción y transformación de compuestos orgánicos.
 - c.1) **Combustión:** Se define como la quema de combustible para extraer la energía en forma de calor, generándose aproximadamente el 90% de la energía obtenida a través de la biomasa. Durante la combustión, el carbono se transforma en dióxido de carbono y el hidrógeno en agua. El azufre se convierte en SO_2 y el nitrógeno a NO_x
 - c.2) **Gasificación:** La biomasa es convertida a gas por medio de un gasificador. Si el tratamiento ocurre a temperaturas por encima de los $1200\text{ }^\circ\text{C}$, el gas está compuesto de hidrógeno y monóxido de carbono. Si el tratamiento ocurre a bajas temperaturas el producto incluye metano y dióxido de carbono, con impurezas de otros compuestos. El biogás resultante puede ser usado directamente, sin embargo, también puede transformarse en otros tipos de combustibles y productos químicos, a través de diferentes procesos. Este es un proceso más eficiente que la combustión y la pirolisis y es el mejor proceso para generar hidrógeno de biomasa.
 - c.3) **Pirolisis:** Consiste en aplicar temperaturas específicas para transformar la biomasa en productos sólidos, líquidos y gaseosos (hidrógeno, metano,

monóxido de carbono, dióxido de carbono, alquitrán, aceites). Aun cuando la aplicación principal de la pirolisis es para obtener biocarbón, la producción de combustibles líquidos se ha incrementado en la última década.

c.4) Licuefacción: También llamada licuefacción hidrotérmica, se lleva a cabo en medio acuoso aplicando temperaturas entre los 280 y los 370 °C y altas presiones de 10 – 25 MPa (megapascal). Puede ser utilizado con diferentes tipos de biomasa, sin embargo los residuos de algas son ideales pues con ella se omite el secado de la biomasa. El principal producto obtenido es el bioaceite que puede ser transformado a biocombustibles.

Resultados y análisis

- **Evolución de las Tecnologías para la producción de los biocombustibles**

Desde el punto de vista tecnológico, el esfuerzo de investigación y desarrollo en el área de biocombustibles manifiesta una tendencia creciente moderada, tal como lo muestra la tendencia de las publicaciones (ver Figura 1) enfocada principalmente en las investigaciones relacionadas con biodiesel, biogás y bioetanol; Estados Unidos y China son los países que ocupan los primeros lugares (ver Figura 2). A nivel de organizaciones, la Academia de Ciencias China presenta la mayor cantidad de publicaciones con liderazgo en el área de biodiesel; Brasil ocupa el cuarto lugar en producción de biocombustibles y la Universidad de Sao Paulo lidera el área de bioetanol.

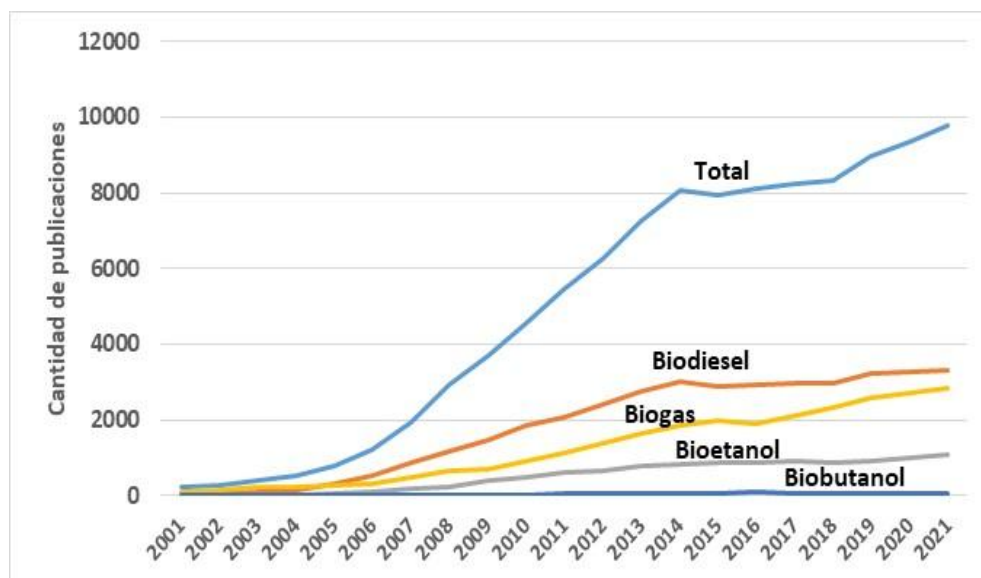


Figura 1. Tendencia de las publicaciones en biocombustibles

Fuente: elaboración propia, datos tomados de la base de datos *Lens.org* (2022)

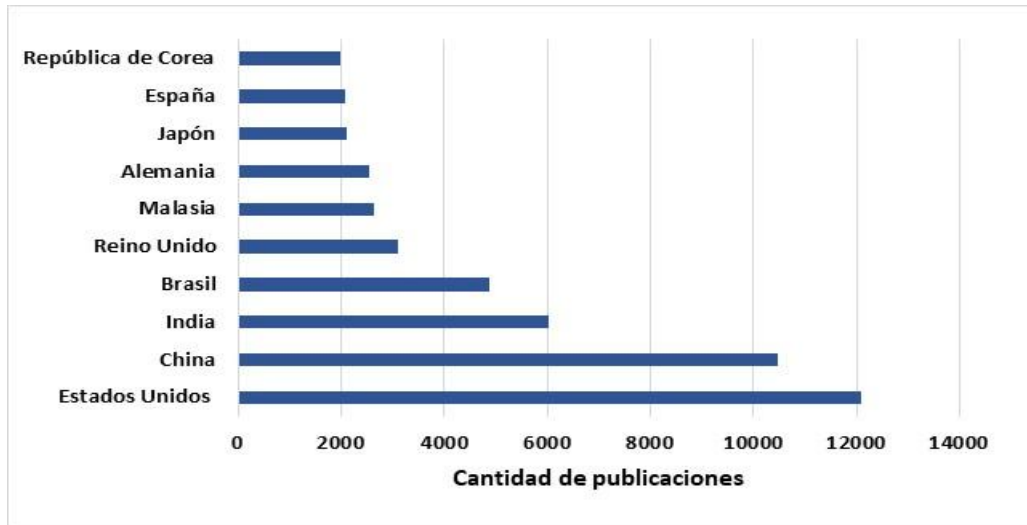


Figura 2. Principales países con mayor cantidad de publicaciones.

Fuente: elaboración propia, datos tomados de la base de datos *Lens.org* (2022)

Con respecto al desarrollo de tecnologías, se observa que las solicitudes de patentes presentan una tendencia creciente acelerada en el período 2006-2018 con una tendencia a la baja en los últimos tres años (ver Figura 3). China es el líder absoluto con la mayor cantidad de solicitudes de patentes en el área (ver Figura 4). Sin embargo, a nivel de organizaciones, Estados Unidos y Europa son los que ocupan los primeros lugares (ver Figura 5)

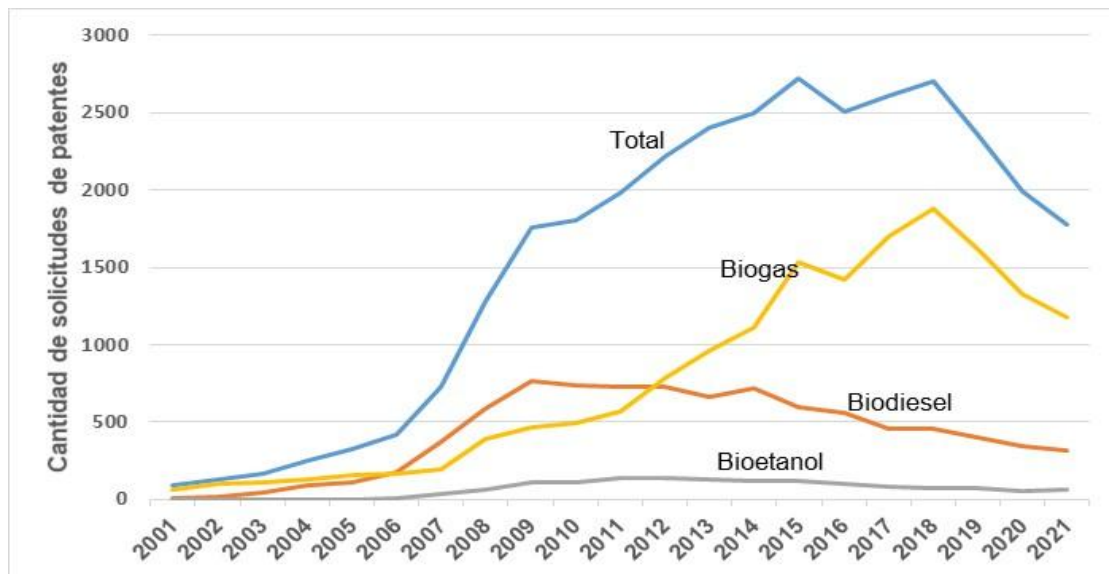


Figura 3. Tendencia de las solicitudes de patentes a nivel mundial

Fuente: elaboración propia, datos tomados de la base de datos *Lens.org* (2022)

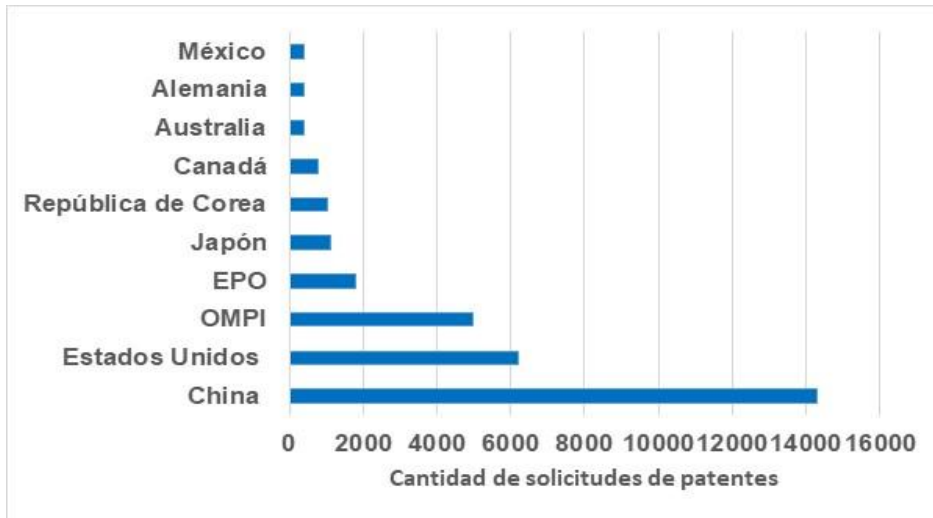


Figura 4. Principales países con solicitudes de patentes en biocombustibles
Fuente: elaboración propia, datos tomados de la base de datos *Lens.org* (2022)

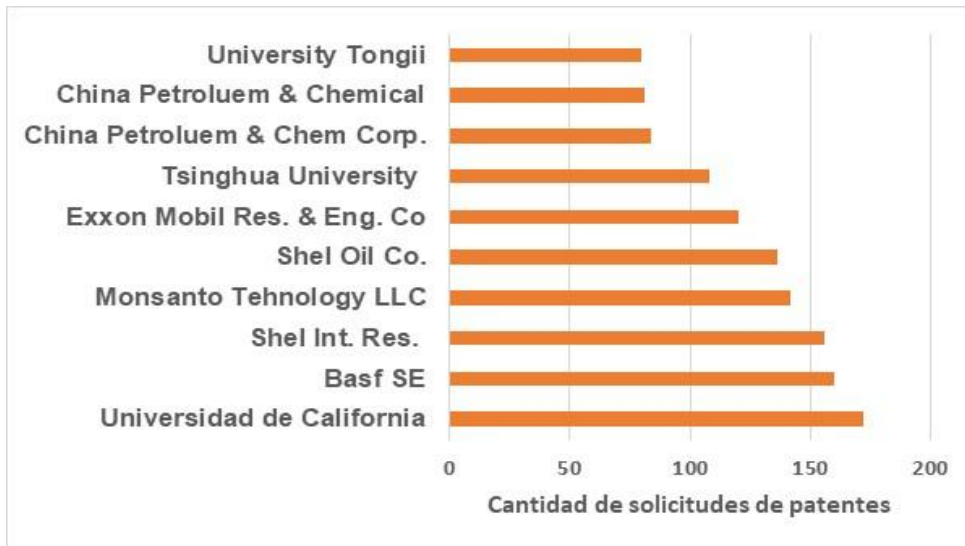


Figura 5. Principales organizaciones con solicitudes de patentes en biocombustibles.
Fuente: elaboración propia, datos tomados de la base de datos *Lens.org* (2022)

Así mismo, en cuanto al tipo de tecnología para producir los biocombustibles, se observa que la tecnología relacionada con la segunda generación es la que presenta el mayor esfuerzo de investigación y desarrollo de tecnologías comparado con las otras generaciones de tecnología (ver Figura 6).

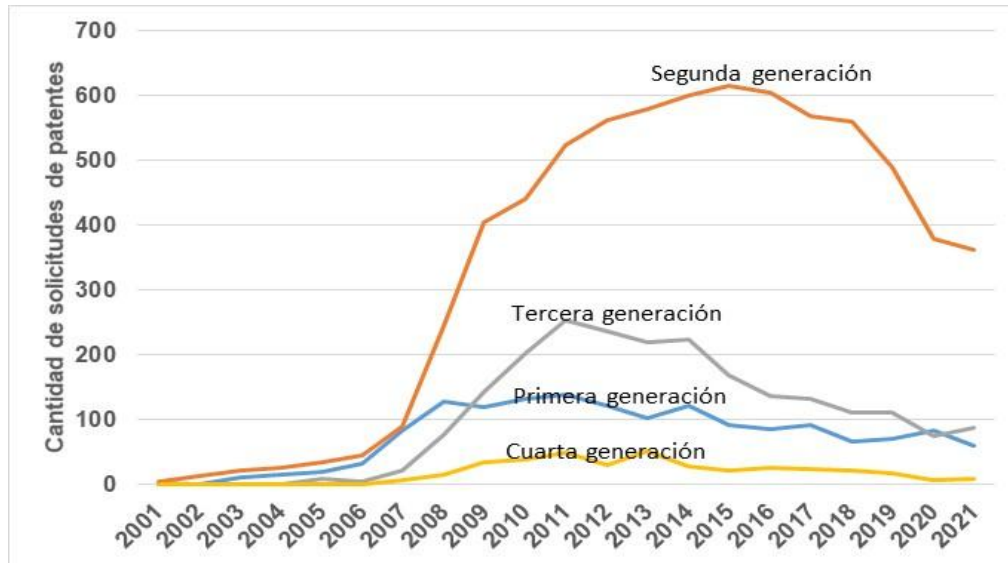


Figura 6. Tendencias a nivel mundial de las solicitudes de patentes por generación
Fuente: elaboración propia; datos tomados de la base de datos *Lens.org* (2022).

La tendencia de las publicaciones muestra el interés que tiene la comunidad académica y científica en continuar realizando actividades de investigación y desarrollo en el área de los biocombustibles especialmente en bioetanol y biodiesel; así como también lo indica la tendencia de las solicitudes de patentes a nivel mundial. Por otra parte, se observa que China y Estados Unidos lideran las actividades de investigación, desarrollo y tecnologías, lo que refleja la relevancia que representa el uso de los biocombustibles como una opción con altas posibilidades de participación en el mercado de combustibles renovables para contribuir con la matriz energética a nivel mundial.

- **Mercado de los biocombustibles**

El interés de los biocombustibles en el mercado de la energía es cada vez más significativo y éstos representan un recurso energético prometedor que puede reducir la demanda de petróleo crudo y gasolina, además, disminuir las emisiones de CO₂ en el sector transporte (Naik et al., 2010). La producción y el consumo de biocombustibles en el mundo presenta una tendencia creciente moderada en los últimos diez años (ver Figura 7); aunque con una leve baja en el año 2020 por efectos de la pandemia; el biodiesel y el bioetanol son los biocombustibles más demandados (ver Figura 8). La demanda total de los biocombustibles en el periodo 2009-2019 creció un 6,2% y en el caso del biodiesel obtuvo el mayor crecimiento de la demanda con un 10% en el mismo periodo (British Petroleum, 2021).

Los biocombustibles, ocupan, cada vez más, un lugar muy importante en el mercado mundial de la energía. Actualmente, las proyecciones indican que alrededor de las tres cuartas partes del uso de energía renovable en el mundo involucra bioenergía, y más de la mitad consiste en el uso tradicional de la biomasa (IRENA, 2022). La bioenergía producida a partir de la biomasa sólida, biogás/biometano y los biocombustibles líquidos tenían una participación, para el año 2019, del 9% en el suministro total de las

energías renovables y será una fuente significativa de combustible tanto para la industria como para el transporte. En ese sentido, se espera un aumento hasta el 17% del total de la energía primaria para el año 2030, considerando un escenario de reducción de temperatura en el planeta de 1,5°C. Este aumento representa casi el doble con respecto al año 2019 (IRENAa, 2022).

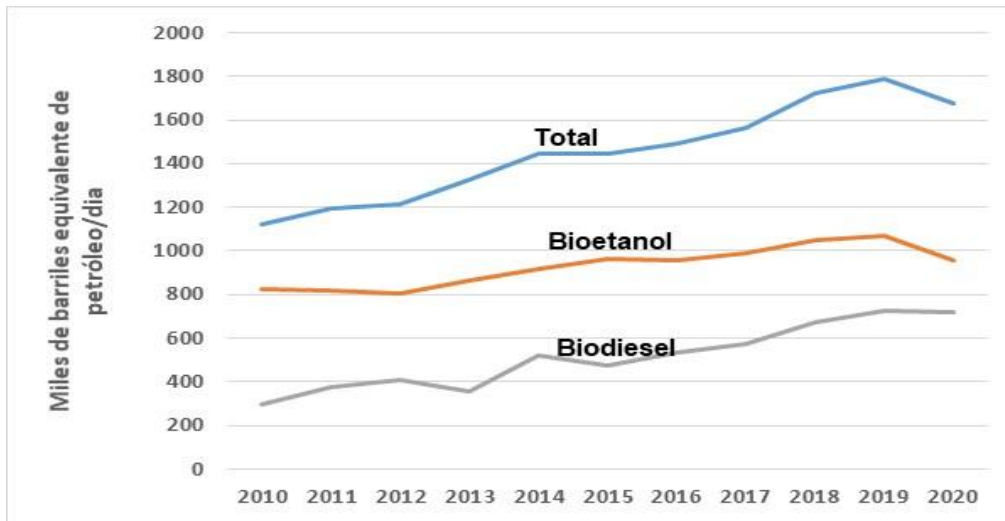


Figura 7. Producción de biocombustible a nivel mundial
Fuente: elaboración propia con datos tomados de *British Petroleum* (2021).

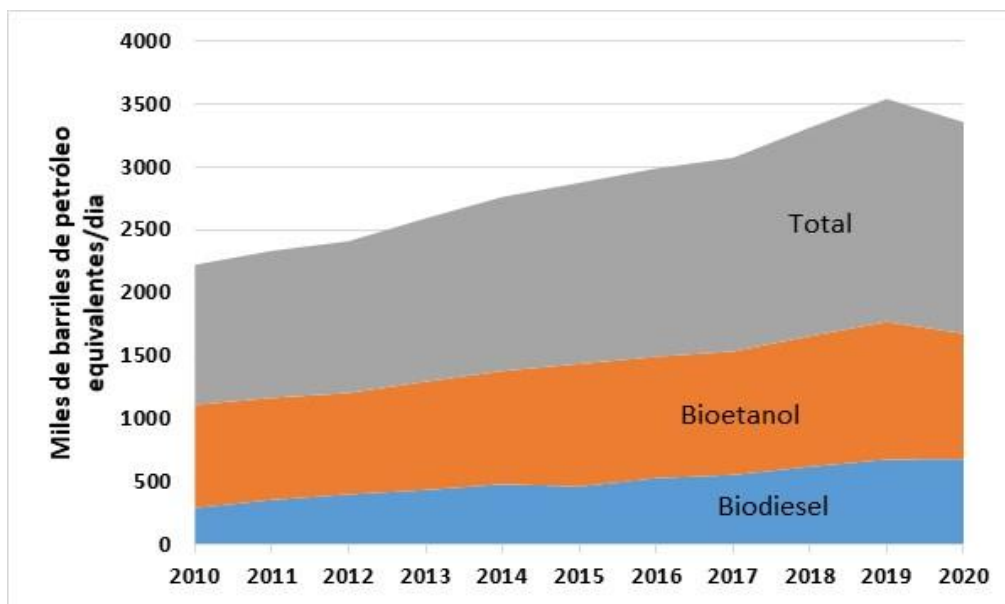


Figura 8. Consumo de biocombustible a nivel mundial
Fuente: elaboración propia con datos tomados de *British Petroleum* (2021).

Los biocombustibles como fuente de energía en el mundo están ganando cada vez más terreno; en ese sentido la biomasa como fuente de energía está siendo muy

utilizada en la mayoría de los países; así como también el uso del biodiesel y el bioetanol. Sin embargo, el aumento de su demanda está muy asociada con la implementación de políticas públicas que fomenten su uso. Uno de los aspectos importantes en la producción de la bioenergía es la disponibilidad de la materia prima ya que se requiere una alta actividad logística donde deben participar diferentes entes de la sociedad para llevar los desechos desde el lugar de su producción hasta donde se van a tratar en las plantas de procesamiento para la producción final del biocombustible y/o el uso como bioenergía; de allí la importancia de la implementación de políticas públicas por parte de los gobiernos para fomentar y apoyar el uso de los biocombustibles para garantizar su sostenibilidad como fuente de energía.

- **Principales desafíos ambientales y barreras en la producción de biocombustibles**

El incremento en los precios del petróleo y la problemática del aumento de la temperatura del planeta debido al cambio climático, ha llevado a que se esté limitando el uso del combustible fósil y con ello el ciclo de vida del petróleo, lo que ha dirigido la atención hacia la búsqueda de fuentes de energía que sean respetuosas con el medio ambiente. Estas fuentes de energía incluyen la energía solar, la eólica, las olas oceánicas y el flujo de las mareas, la geotermia y los biocombustibles. Sin embargo, existen discrepancias sobre la viabilidad de los biocombustibles, junto con la controversia sobre su sostenibilidad real, debido al empleo de biomásas que pudieran utilizarse en la alimentación humana y animal, y el uso de tierras que puedan servir para el cultivo de alimentos.

Señalan Philippidi y colaboradores (2019), que las amenazas del cambio climático, la seguridad alimentaria, el agotamiento de los recursos y la seguridad energética están impulsando a la sociedad hacia un futuro sostenible que sea bajo en carbono. Dentro de este paradigma, la biomasa juega un papel invaluable para satisfacer las necesidades de alimentos, piensos, energía y materiales de las futuras generaciones. El pensamiento actual de la Unión Europea, aboga por la biomasa para materiales de alto valor, generando una distribución más equitativa entre las tecnologías de conversión de biomasa y las tecnologías de uso de combustibles fósiles. Al lograr una mayor equidad, estas vías facilitan el mercado de la biomasa, mejora la seguridad alimentaria, acelera el rendimiento de la producción de los sectores de biomateriales y favorece el crecimiento macroeconómico. Además, el aumento del precio del petróleo señala un punto de inflexión a favor de los biocombustibles de primera generación, al tiempo que aumenta la investigación en tecnologías avanzadas de conversión de materiales.

Las tierras de cultivo abandonadas a menudo se consideran un recurso en el que se pueden producir cultivos energéticos y, al mismo tiempo, reducir los impactos negativos de la producción de estos cultivos a gran escala, como por ejemplo las emisiones de carbono y la competencia con la producción de alimentos y aunque el biocombustible representa una energía renovable y verde, también existe el inconveniente de usar tierras que podrían utilizarse en cultivos de alimentos en la producción de combustibles.

En tal sentido, se han realizado diferentes estudios al respecto. Por ejemplo, existe un problema potencial, por el crecimiento internacional de los biocombustibles en la Amazonía, presentándose efectos notables tanto en la agricultura del Brasil como en los bosques dentro de sus fronteras nacionales. Es necesario que exista una intensificación agrícola para hacer frente a la demanda de productos sin degradar la selva amazónica, un paisaje único en el mundo por su valor ecológico y cultural riqueza (Walker, 2011).

Con relación a Canadá, (Mabee y Mirck, 2011) señalan que la presencia de una gran base agrícola al este de Ontario, brinda oportunidades que podrían ser fuente de materia prima de biomasa residual y cultivada para la producción de bioenergía y biocombustibles. En términos de alternativas convencionales de bioenergía, la opción combinada de calor y electricidad puede proporcionar cantidades significativas de energía a esta región. Con respecto a los Estados Unidos de América, (Baxter y Calvert, 2017), elaboraron un estudio y encontraron que en ese país existen entre 15,0 y 4,9 M ha de tierras de cultivo abandonadas disponibles que podrían emplearse en la producción de alrededor de un 3 a un 8 % del consumo total de gasolina de servicio ligero en EUA.

En lo que se refiere al impacto económico de la producción de biocombustibles, este depende de una serie de factores interrelacionados tales como la materia prima específica del biocombustible, la tecnología empleada para su producción, la demanda de recursos locales y la medida en que se crea la nueva actividad. Estos problemas se pueden analizar utilizando modelos económicos multisectoriales. Algunos estudios utilizan marcos de modelado de insumo-producto y matriz de contabilidad social, mientras que existe poca literatura relacionada con el equilibrio general computable que ha comenzado a examinar el impacto del desarrollo de los biocombustibles. Allan (2015), revisa, compara y evalúa estos enfoques para modelar los impactos económicos regionales de los biocombustibles.

Indica Allan, que los modelos que han sido utilizados para cuantificar los impactos económicos de cambios en la demanda de producción de biocombustibles, hacen suposiciones como el que los precios permanezcan fijos y que la oferta se mantenga estable. El autor señala que el modelado de biocombustibles de primera y segunda generación requiere que exista una especificación explícita de la tierra, y su uso, como factor de producción, dado que el desarrollo de estos tiene impactos en los precios de la tierra, el uso de la tierra y el precio de los alimentos. Por ello, los modelos de equilibrio regional computable, en los cuales los mercados para todos los factores de producción pueden especificarse apropiadamente para la economía regional bajo consideración, parecen ofrecer beneficios significativos sobre los modelos de precio fijo, permitiendo que los precios y el uso de la tierra (en conjunto y por sector) respondieran a las señales del mercado y así proporcionarían un enfoque de modelado más realista que los métodos de precio fijo, permitiendo el análisis de sensibilidad en la relación entre el uso de la tierra como factor de producción y los insumos móviles (por ejemplo, capital y mano de obra).

Con relación a las tecnologías de biocombustibles de tercera generación como las de algas marinas, los impactos no deseados de los biocombustibles de primera y segunda

generación por el cambio en el uso de la tierra, pueden no aplicarse a los biocombustibles de origen marino, por lo cual algunos autores creen que estos últimos son muy prometedores y el modelado de los biocombustibles de estas fuentes tendrían que considerar diferentes efectos sobre el aprovechamiento del medio marino.

Con respecto a las barreras que existen para que los biocombustibles logren alcanzar una mayor participación en el mercado de la energía, es preciso estar consciente "...que la sostenibilidad de la bioenergía es compleja, y depende de un contexto muy específico ya que varía según la ubicación, las condiciones sociales y políticas, así como la capacidad regulatoria, la ubicación de la producción, uso de la biomasa, entre otros factores..." En la Figura 9 se muestran las principales barreras que presentan los biocombustibles como fuente de energía (IRENA, 2022).

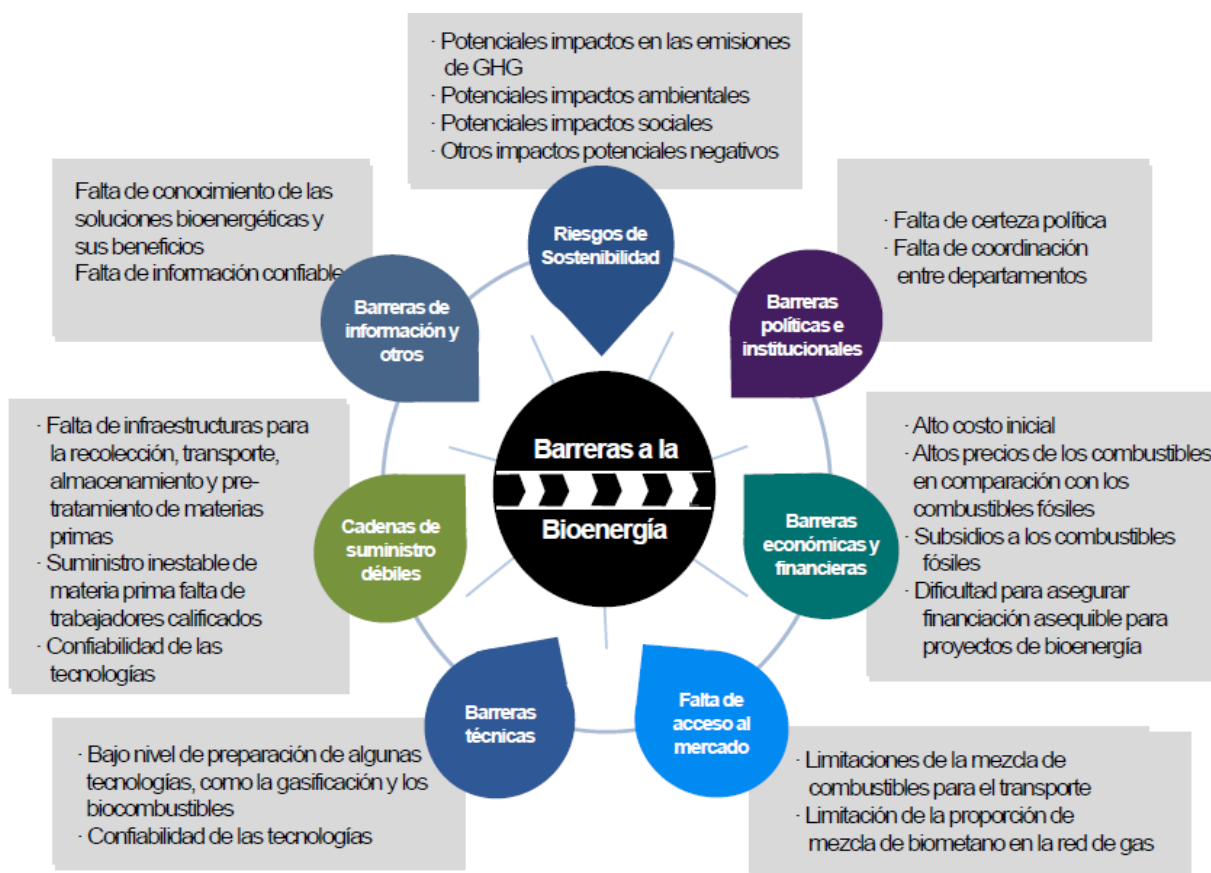


Figura 9. Barreras genéricas para el despliegue de la bioenergía.
Fuente: IRENA (2022).

La falta de políticas certeras impide que las industrias inviertan en cadenas de suministro de bioenergía e infraestructuras que suelen durar más tiempo ya que existen problemas institucionales relacionados con la falta de coordinación entre los diferentes departamentos encargados de formular políticas de bioenergía, como agricultura, silvicultura y energía.

Existe falta de formación y de experiencia en el desarrollo de nuevas tecnologías, tal como la gasificación, y en los nuevos productos como el *biojet* (combustible sostenible de aviación obtenido a partir de biomasa o residuos) que aún no están comercializados y requieren mejorar la confiabilidad y eficiencia del sistema.

La obtención de la bioenergía tiene un costo relativamente alto comparado con los combustibles fósiles y otras fuentes de energía; sin embargo, aun cuando se puede mejorar la tecnología de tal manera que sea más eficiente y de menor costo, aún existen una diversidad de proyectos de bioenergía que no son competitivos debido a la ausencia de políticas fiscales tales como el impuesto al carbono y otras medidas fiscales que tomen en cuenta los costos de ambiente negativo y el impacto social producido por la quema de combustibles fósiles. Además, puede ser difícil obtener financiamiento a tasas razonables para proyectos de bioenergía, debido a la falta de políticas y acciones para la bioenergía y los riesgos potenciales relacionados a la cadena de suministro.

Hay un acceso limitado al mercado debido al dominio de los combustibles fósiles en el negocio de la energía, así como la regulación del mercado basado en combustibles fósiles que puede limitar el uso de la bioenergía. En algunos casos, las regulaciones de mezcla pueden limitar la proporción de mezcla de biocombustibles líquidos en el combustible de transporte o la proporción de biometano en la red de gas.

Se manifiesta una falta de infraestructura y regulación apropiadas para apoyar el desarrollo de la cadena de suministro de bioenergía y una falta de personal calificado.

Existen riesgos de sostenibilidad de la bioenergía asociados con efectos ambientales, sociales y económicos potencialmente dañinos.

Por último también hay que considerar las barreras de la información pueden retrasar el despliegue del uso de los biocombustibles en el mercado, ya que, por ejemplo en las industrias y hogares, pueden desconocer las tecnologías o soluciones disponibles, o los agricultores pueden no conocer los beneficios de vender residuos y desechos para la producción de bioenergía.

Conclusiones

La tendencia creciente de las publicaciones y las solicitudes de patentes a nivel mundial reflejan la importancia de los biocombustibles en la matriz energética de los combustibles renovables a nivel mundial. Igualmente con respecto al mercado, este presenta una tendencia creciente moderada con un 9% de crecimiento para el año 2019 y se espera que los biocombustibles sean una fuente significativa de combustible tanto para la industria como para el transporte. Los países con mayor cantidad de publicaciones y solicitudes de patentes a nivel mundial lideran China y Estados Unidos, lo que refleja el interés creciente que tiene la comunidad académica y científica en los biocombustibles como una fuente potencial de energías renovables.

Con respecto a los efectos ambientales, aún la comunidad científica no tiene claro los efectos ambientales que pudieran producir los biocombustibles a largo plazo, por lo que aún requiere de una intensa actividad de investigación y desarrollo para minimizar la incertidumbre en esta materia.

Con relación a la viabilidad de los biocombustibles, existe controversia en el empleo de biomásas que pudieran utilizarse en la alimentación y el uso de tierras que puedan servir para el cultivo de alimentos, presentándose las tecnologías de biocombustibles de segunda y tercera generación como más adecuadas para el desarrollo sustentable.

Referencias bibliográficas

Allan, Grant J (2015) The Regional Economic Impacts of Biofuels: A Review of Multisectoral Modelling Techniques and Evaluation of Applications. *Regional Studies*. Vol. 49 (4):15-643. DOI: 10.1080/00343404.2013.799761

Ambaye, T., Vaccari, M., Bonilla-Petriciolet, A., Prasad, S., van Hullebusch, E. y Rtimi, S. (2021). *Emerging technologies for biofuel production: A critical review on recent progress, challenges and perspectives*. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479721006897>

Barrowclough, M.; Geyer, L. (2015) *International Advances in Economic Research*. Vol. 21 (1):55-65. DOI: 10.1007/s11294-015-9513-4

Baxter, Ryan E.; Calvert, Kirby E (2017) Estimating Available Abandoned Cropland in the United States: Possibilities for Energy Crop Production. *Annals of the American Association of Geographers*. Vol. 107 (5): 1162-1178. DOI: 10.1080/24694452.2017.1298985. <https://web.s.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=8&sid=a3cdce9e-bc3d-400d-bec8-490d62a02440%40redis>

British Petroleum (2021). Statistical Review of World Energy 2021. Recuperado de: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2021-full-report.pdf>

Dutta, B.; Garipey, Y., y Raghavan, G. (2015) Effects of process parameters and selective heating on microwave pyrolysis of lignocellulosic biomass for biochar production. *Canadian Biosystem Engineering Journal*. Vol. 57: 23-32. DOI: 10.7451/CBE.2015.57.3.23. <https://web.s.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=8&sid=57ce13d3-d20f-4de8-82a0-72e94f2e3b45%40redis>

IRENA (2022). World Energy Transitions Outlook. Recuperado de: <https://www.irena.org/publications/2022/Mar/World-Energy-Transitions-Outlook-2022>

- IRENA (2022b). World Energy Transitions Outlook. Recuperado de: <https://www.irena.org/publications/2022/Mar/World-Energy-Transitions-Outlook-2022>
- IRENA (2022a). Bioenergy. Recuperado de: <https://www.irena.org/bioenergy>.
- Lens.org (2022). Structure Search. Recuperado de: <https://www.lens.org/>
- Loganathan, G.; Kannan, M. (2022) Optimized Production of Biodiesel Using Internet of Things Sensed Temperature with Hybrid Particle Swarm Optimization. *Journal of Chemistry*. Vol 2022:1-11. DOI: 10.1155/2022/3793739. <https://web.p.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=13&sid=5e2d981f-2680-4896-a573-cad341214257%40redis>
- Mabee, W. y Mirck, J. (2011). A Regional Evaluation of Potential Bioenergy Production Pathways in Eastern Ontario, Canada. *Annals of the Association of American Geographers*. Vol. 101 (4):897-906. DOI: 10.1080/00045608.2011.568878 <https://web.s.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=4&sid=a3cdce9e-bc3d-400d-bec8-490d62a02440%40redis>
- Mendoza-Meneses, C., Feregrino-Pérez, A. y Gutiérrez-Antonio, C. (2021) Potential Use of Industrial Cocoa Waste in Biofuel Production. *Journal of Chemistry*. Vol 21: 1-11. DOI: 10.1155/2021/3388067. <https://web.p.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=5&sid=1d2fb89b-3430-465a-a4b7-0a56692dafa5%40redis>
- Naik, S., Goud, V., Rout, P., y Dalai, A. (2010). Production of first- and second-generation biofuels: A comprehensive review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 14 (2), 578–597. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2009.10.003>.
- Panel Intergubernamental de expertos sobre Cambio Climático (IPCC). (2007). Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Recuperado de: https://www.slwd.com/sites/g/files/vyhli1176/f/uploads/item_10b_4.pdf
- Panel Intergubernamental de expertos sobre Cambio Climático (IPCC). (2015). Contribución Del Grupo De Trabajo III Al Quinto Informe De Evaluación Del Grupo Intergubernamental De Expertos Sobre El Cambio Climático. Recuperado de: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/WG3AR5_SPM_brochure_es.pdf
- Perona, John J. (2017). Biodiesel for the 21st century renewable energy economy. *Energy Law Journal*. Vol. 38 (1): 165-212. <https://web.p.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=21&sid=5e2d981f-2680-4896-a573-cad341214257%40redis>

- Philippidis, G., Bartelings, H., Helming, J., M'barek, R., Smeets, E y van Meijl, H. (2019) Levelling the playing field for EU biomass usage. *Economic Systems Research* Vol. 31, (2): 158–177 <https://doi.org/10.1080/09535314.2018.1564020>
- Stafford, W., Lee, H., Lotter, G., von Maltitz, G., Brent, A. (2019). Biofuels technology development in Southern Africa. *Development Southern Africa*. Vol. 36 (2):155-174. DOI: 10.1080/0376835X.2018.1481732 <https://web.s.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=4&sid=b1123bd9-0836-4ce8-b149-e727cf4c7a33%40redis>
- Walker, R (2011). The Impact of Brazilian Biofuel Production on Amazonia *Annals of the Association of American Geographers*, Vol. 101 (4): 929-938. DOI: 10.1080/00045608.2011.568885. <https://web.p.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=3&sid=6b37bb44-c874-4fef-ba20-e6b5995caafa%40redis>
- Zamora-Cristales, R., Sessions, J., y Marrs, G. (2017). Economic implications of grinding, transporting, and pretreating fresh versus aged forest residues for biofuel production. *Canadian Journal of Forest Research.*, Vol. 47 (2):269-276. DOI: 10.1139/cjfr-2016-0221. <https://web.p.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=10&sid=5e2d981f-2680-4896-a573-cad341214257%40redis>