

# Los biocombustibles líquidos en las Américas **Situación actual y potencial de desarrollo**

Autor: Mg. Agustín Torroba  
Editor técnico: Mg. Agustín Torroba





# Los biocombustibles líquidos en las Américas **Situación actual y potencial de desarrollo**

INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACIÓN PARA LA AGRICULTURA (IICA), 2020



Los biocombustibles líquidos en las Américas: situación actual y potencial de desarrollo por IICA se encuentra bajo una Licencia Creative Commons

Reconocimiento-Compartir igual 3.0 IGO (CC-BY-SA 3.0 IGO)

(<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/igo/>)

Creado a partir de la obra en [www.iica.int](http://www.iica.int).

El Instituto promueve el uso justo de este documento. Se solicita que sea citado apropiadamente cuando corresponda.

Esta publicación está disponible en formato electrónico (PDF) en el sitio Web institucional en <http://www.iica.int>

Coordinación Editorial: Mg. Agustín Torroba

Corrección de Estilo: Maximiliano Araya

Diagramación: Carlos Umaña C.

Diseño de portada: Carlos Umaña C.

Documento digital

Los biocombustibles líquidos en las Américas: situación actual y potencial de desarrollo / Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. – San José, Costa Rica : IICA, 2020.

62 p.; 21,59 cm X 27,94 cm.

ISBN: 978-92-9248-882-6

1. Bioeconomía 2. Bioenergía 3. Biocarburante 4. Biomasa  
5. Industria 6. Normas 7. Américas 8. Unión Europea I. Torroba, Agustín II. IICA III. Título

AGRIS

P06

DEWEY

333.7

San José, Costa Rica

2020

# Contenido

<b>Presentación</b>	<b>9</b>
<b>Resumen ejecutivo</b>	<b>11</b>
<b>1 Introducción</b>	<b>13</b>
1.1 Marco general	13
1.2 Clasificación de los biocombustibles líquidos	14
1.2.1 Biodiésel	16
1.2.2 Bioetanol	20
<b>2 Situación actual, potencial y fundamentos de los biocombustibles en las Américas</b>	<b>23</b>
2.1 Situación actual y evolución reciente	23
2.2 Fundamentos del uso de los biocombustibles	27
2.2.1 Diversificación de la matriz energética: sustitución fósil y seguridad energética	27
2.2.2 Industrialización de la biomasa: valor agregado en origen, valor agregado exportable, diversificación productiva y generación de divisas	29
2.2.3 Generación de empleos y desarrollo de los territorios rurales	32
2.2.4 Cuestiones ambientales	37
2.3 Potencialidad de los biocombustibles en el continente americano	41
<b>3 Estrategias para el desarrollo de los biocombustibles y diseño de marcos normativos</b>	<b>46</b>
3.1 Comparación de algunas experiencias	46
3.1.1 Unión Europea (UE)	47
3.1.2 Estados Unidos	47
3.1.3 Brasil	48
3.1.4 Panorama global de los biocombustibles	50
3.2 Diseño de marcos normativos	51
3.2.1 Marcos normativos promocionales	52
3.2.2 Marcos normativos de transición	52
3.2.3 Marcos normativos libres o desregulados	53
<b>4 Consideraciones finales</b>	<b>55</b>
<b>5. Bibliografía</b>	<b>57</b>

## Índice de ilustraciones

<b>Ilustración 1:</b> Productos fósiles obtenidos de la refinación de petróleo y productos biológicos análogos obtenidos de la biorrefinación de biomasa.	15
<b>Ilustración 2:</b> Descripción esquemática de las distintas vías comerciales (líneas continuas) y en desarrollo (líneas punteadas) de la bioenergía a partir de insumos de biomasa (productos comerciales con asterisco).	16
<b>Ilustración 3:</b> Subproductos de la molienda de soja y producción de biodiésel.	17
<b>Ilustración 4:</b> Destinos de la glicerina en el mundo.	18
<b>Ilustración 5:</b> Usos bioeconómicos de la industrialización de la palma.	19
<b>Ilustración 6:</b> Materias primas y rutas productivas para la producción de bioetanol.	20
<b>Ilustración 7:</b> Producción de bioetanol y productos derivados.	22
<b>Ilustración 8:</b> Matriz energética mundial (2017).	23
<b>Ilustración 9:</b> Matriz energética de ALC (2017).	23
<b>Ilustración 10:</b> Evolución del consumo de biocombustibles en el mundo (en miles de barriles por día).	24
<b>Ilustración 11:</b> Participación relativa en la producción de biocombustibles en el mundo (2016).	25
<b>Ilustración 12:</b> Uso promedio de biodiésel y bioetanol en países seleccionados (% v/v sobre diésel y gasolina total dedicada a uso automotor, 2018).	26
<b>Ilustración 13:</b> Reducción del déficit petrolero en América vía biocombustibles.	28
<b>Ilustración 14:</b> Evolución de la producción de bioetanol y exportaciones de DDGS en Estados Unidos.	30
<b>Ilustración 15:</b> Evolución de la producción de biodiésel en Argentina y las exportaciones de glicerina total (ambas en toneladas).	31
<b>Ilustración 16:</b> Exportaciones de glicerina bruta (en toneladas).	32

<b>Ilustración 17:</b> Generación de empleos por tipo de energía renovable.	33
<b>Ilustración 18:</b> Generación de empleos por tipo de energía renovable.	34
<b>Ilustración 19:</b> Variación del precio real de las materias primas y las cantidades dedicadas a la producción de biocombustibles para el período 2015-2018.	35
<b>Ilustración 20:</b> Apoyo a la agricultura – índice de apoyo al productor, como porcentaje de los ingresos recibidos.	36
<b>Ilustración 21:</b> Valores típicos y valores por defecto para los biocarburantes producidos sin emisiones netas de carbono debidas a cambios en el uso del suelo.	38
<b>Ilustración 22:</b> Rangos de emisiones de GEI por unidad de energía generado (MJ).	40
<b>Ilustración 23:</b> Participación de los excedentes exportables del continente americano sobre el total mundial (2016).	43
<b>Ilustración 24:</b> Potencialidad de producción de bioetanol con base en los saldos exportables de maíz y caña de azúcar (como porcentaje de la gasolina consumida internamente).	44
<b>Ilustración 25:</b> Potencialidad de la producción de biodiésel con base en los saldos exportables de soja y aceite de palma y soja (como porcentaje del diésel consumido internamente).	45
<b>Ilustración 26:</b> Mandatos nacionales y utilización promedio de biocombustibles por país (2019).	50



## Presentación

El 25 de septiembre de 2015, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) seleccionó los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) como el concepto unificador del esfuerzo que la comunidad internacional, en su conjunto, y cada país, en particular, debían hacer para lograr el desarrollo y el bienestar de todos. El conjunto de los 17 ODS ha sido ratificado y asumido como propio por la mayoría de los países del mundo.

El Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) ha alineado institucionalmente sus objetivos estratégicos con los ODS, reconociéndose como parte de una alianza mundial comprometida con el desarrollo sostenible en todas sus dimensiones. En este sentido, en su Plan de Mediano Plazo (PMP) para el período 2018-2022 (IICA 2018), el Instituto estableció los siguientes objetivos:

- 1) Aumentar las contribuciones del sector agropecuario al crecimiento económico y al desarrollo sostenible.
- 2) Contribuir al bienestar de todos los habitantes en los territorios rurales.
- 3) Mejorar el comercio internacional y regional de los países de la región.
- 4) Aumentar la resiliencia de los territorios rurales y los sistemas agroalimentarios a los eventos extremos.

El IICA sostiene, en su PMP (IICA 2018) y en sus abordajes conceptuales sobre la bioeconomía y desarrollo productivo (IICA 2019), que, para transitar hacia una economía que utilice los recursos biológicos de manera más eficiente y sostenible en el desarrollo productivo y reducir, de esa manera, su dependencia en los combustibles fósiles, se requieren nuevas políticas, instituciones y capacidades que impulsen y dirijan el comportamiento de los actores en función de la optimización de los beneficios potenciales y de la minimización de los costos de la transición para todos los involucrados. Las estrategias por implementar deben incluir no solo las políticas generales, sino también nuevos enfoques para áreas como la ciencia, la tecnología y la innovación.

También se requiere trabajar en el fortalecimiento del recurso (talento) humano necesario para las nuevas actividades de la bioeconomía, así como en diversas normativas, regulaciones e instrumentos de mercado esenciales para el desarrollo sostenible y seguro de las nuevas formas de aprovechamiento de la bioeconomía.

En tal sentido, el presente documento está dirigido a personal técnico de organismos gubernamentales y no gubernamentales que busquen ampliar y fortalecer las capacidades sobre biocombustibles, considerando que estos son parte de un abordaje amplio dentro de la bioeconomía como paradigma productivo y que su desarrollo contribuirá al cumplimiento de los ODS y los objetivos estratégicos del IICA.



## Resumen ejecutivo

La bioeconomía ha comenzado a constituirse en un paradigma productivo de gran relevancia para el continente americano. La gran disponibilidad de materias primas y los grandes excedentes exportables de biomasa posicionan a las Américas en una situación de privilegio para utilizar en forma eficiente sus recursos biológicos.

Una de las actividades bioeconómicas que se han destacado por su gran crecimiento en las últimas dos décadas es la producción y consumo de biocombustibles líquidos. Estos combustibles de origen biológico, principalmente el biodiésel y el bioetanol, han permitido industrializar en forma inteligente los saldos exportables de biomasa de nuestra región para sustituir importaciones de productos fósiles.

El aprovechamiento eficiente de la biomasa a través de la incorporación de procesos tecnológicos permite la utilización de los recursos biológicos con el doble desafío de impulsar el desarrollo económico y contribuir a una economía que enfrenta los desafíos ambientales actuales a partir del paradigma de la bioeconomía.

En el primer capítulo de este documento, se brinda una introducción a los biocombustibles y se proporciona información sobre su clasificación, productos a los cuales sustituyen y/o complementan y la economía multiproducto asociada a esta industria.

En el segundo capítulo se analizan la situación actual, el potencial y los fundamentos para que los distintos países de las Américas promuevan el uso de los biocombustibles. En tal sentido, cabe destacar la gran potencialidad que posee el continente americano para seguir industrializando sus excedentes exportables de biomasa en forma de biocombustibles líquidos. Cabe destacar que más de 20 países de las Américas podrían empezar a incorporar biocombustibles, o incrementar la participación actual, si industrializaran los saldos exportables de las principales materias primas utilizadas para producir biodiésel (palma y soja) y bioetanol (maíz y caña de azúcar)<sup>1</sup>.

En esa dirección, es importante mencionar que las Américas exportan el 66 % del maíz y el 51 % del azúcar del mundo. Solo el potencial de los saldos exportables de estos dos productos permitiría producir 70 000 millones de litros de bioetanol, además de una serie de subproductos de alto valor agregado, como granos destilados, aceite de maíz, bioelectricidad, bioabono, papel celulósico, etc.

Por otra parte, el continente americano exporta el 72 % del aceite de soja del mundo, el 5 % del aceite de palma y el 96 % de la soja que puede ser industrializada para producir alrededor de 20 000 millones de litros de aceite de soja y cerca de 100 millones de toneladas de subproductos destinados a alimentación humana o animal (harinas proteicas, pellets, expeler, etc.). Estos recursos le dan al continente un potencial para producir 31 000 millones de litros adicionales de biodiésel y glicerina en forma asociada.

El potencial del continente para producir biocombustibles a partir de otras materias primas, como las lignocelulósicas, es superior. La futura evolución de tecnologías y costos de producción serán determinantes para ampliar la participación de los biocombustibles utilizando materias primas alternativas.

---

1. Como se mencionará más adelante, estas materias primas son las de mayor utilización para producir biocombustibles, pero no excluyentes, pues existen otras fuentes biológicas de gran potencial.

Los biocombustibles líquidos son una oportunidad concreta de las Américas para agregar valor al sector agrícola de manera tal de producir y suministrar en forma eficiente y económica energía medioambientalmente más limpia que la producida con sustitutos fósiles. En el presente documento se realiza un análisis de las variables fundamentales que impulsan al desarrollo del sector en el continente, a saber:

- La generación de empleos.
- Las ventajas medioambientales.
- La generación de valor agregado en origen y valor agregado exportable.
- La sustitución de importaciones de combustibles fósiles.
- La diversificación productiva a través de una industria “multiproducto”.
- El impacto positivo en el desarrollo territorial y la agricultura familiar a través de una demanda más estable de materias primas.

El tercer capítulo se enfoca en describir las estrategias para el desarrollo de los biocombustibles y los diseños alternativos de marcos normativos. En él se describe la evolución de la legislación de la Unión Europea (UE), Estados Unidos y Brasil. A ello se le suma un subcapítulo dedicado al diseño de marcos normativos con base en la experiencia mundial.

En cuanto a la aproximación a la institucionalidad y las temáticas que habitualmente son normadas en materia de biocombustibles líquidos, los marcos regulatorios han girado en torno a cuatro grandes ejes:

- Las mezclas/cortes obligatorios que pueden expresarse en porcentajes o con objetivos volumétricos.
- Los mecanismos para determinar los precios de los biocombustibles.
- El régimen tributario mediante el cual se gravan los biocombustibles líquidos en comparación con el destinado a gravar los combustibles fósiles.
- El marco impositivo particular sobre las actividades de inversión y producción de biocombustibles.

En materia de legislación, cabe destacar que al menos 70 países del mundo cuentan con mandatos para mezclas de biocombustibles, con una participación muy relevante de naciones del continente americano. Además de liderar el consumo, el continente americano ha tomado la iniciativa en el desarrollo de biocombustibles, el cual es altamente promisorio: produce el 87 % del bioetanol del mundo y el 52 % del biodiésel.

Es pertinente resaltar que en este documento se analiza cómo la estrategia de industrializar el agro para producir y proveer energía en forma sostenible se encuentra en línea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Asimismo, esa estrategia está en línea con los objetivos estratégicos del IICA de “aumentar las contribuciones del sector agropecuario al crecimiento económico y al desarrollo sostenible”, a la vez que contribuye a “mejorar el comercio internacional y regional de los países de la región”. En suma, también se aporta al objetivo del Instituto de “contribuir al bienestar de todos los habitantes en los territorios rurales” a través de los efectos directos e indirectos del desarrollo de los biocombustibles en el sector.

# 1 Introducción

## 1.1 Marco general

El uso eficiente de los recursos biológicos puede convertirse en una de las principales ventajas comparativas de las Américas respecto al resto del mundo. Una de las bases del desarrollo fundamentado en la bioeconomía como paradigma productivo es la transformación de los recursos biológicos para producir biomasa vegetal a partir del proceso fotosintético que involucra a la energía solar, diferentes componentes minerales, agua y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

En esa línea, las aplicaciones biotecnológicas, la utilización de los recursos de la biodiversidad, la eointensificación de la producción, el incremento de la eficiencia en las cadenas de valor, los servicios ecosistémicos y las biorrefinerías y bioproductos se constituyen como los principales senderos para el desarrollo de la bioeconomía. Por su nivel de desarrollo y su potencialidad, las biorrefinerías productoras de bioenergía desempeñan un rol fundamental en el continente americano.

La bioenergía puede definirse en forma genérica como un tipo de energía renovable que se produce a partir del aprovechamiento de la biomasa derivada de algún proceso biológico o mecánico, generalmente de las sustancias que constituyen los seres vivos o sus restos y residuos. De este tipo de energía primaria, derivan productos combustibles biológicos utilizados en diferentes etapas de procesos productivos o de consumo final: los biocombustibles.

De esta manera, los biocombustibles derivan de la biomasa y son la expresión de las bioenergías. De acuerdo con su grado de procesamiento pueden clasificarse en:

- (i) Primarios/biomasa tradicional: aquellos que no tienen procesamientos significativos. La utilización de leña es el principal ejemplo.
- (ii) Secundarios/biomasa moderna: resultan de un proceso que altera la biomasa en relación con el estado natural en que fue recolectada. Esto hace que, luego de un tratamiento, la biomasa devenida en biocombustibles secundarios encuentre un mayor número de aplicaciones, tanto en la industria como en el transporte. En esta segunda categoría se encuadran el biodiésel, el bioetanol, el biojet, el bio fueloil y el biogás.

La utilización de biocombustibles secundarios, especialmente los líquidos, han construido cadenas y redes de valor asociadas con un desarrollo considerable en el continente americano. Dicho desarrollo ha sido impulsado por mecanismos normativos ad hoc que han permitido al sector productor de biocombustibles alcanzar niveles de madurez y competitividad en varios países de la región. La aplicación de políticas públicas ha sido fundamental para la creación, el desarrollo y la potenciación de este nuevo negocio. En este sentido, los esquemas normativos han ponderado la inserción de este nuevo sector en un mercado de combustibles fósiles maduro y desarrollado<sup>2</sup>.

---

2. Para información sobre el impacto del COVID 19 y la caída en los precios del petróleo en los biocombustibles, consultar IICA 2020.

Además de ser una de las aplicaciones bioeconómicas con mayor desarrollo y potencial en el ambiente hemisférico, los biocombustibles líquidos se desarrollan dentro de un entramado productivo denominado “industria multiproducto”, “producción conjunta”, “economías de alcance”, “economías de diversidad”, etc. Autores como Carlton y Perloff (1994) y Baumol *et al.* (1988) presentan conceptos referidos a la “producción conjunta” o de “variedad”. Esta se define como aquel proceso productivo que da lugar a más de un bien. En el caso de los biocombustibles, se obtiene en forma asociada una canasta de bioproductos, en muchos casos de significativo valor, que permiten ampliar el potencial del sendero puntual vinculado a la bioeconomía.

Este tipo de entramados productivos asociados a la química verde posibilita sustituir productos típicamente derivados de procesos de refinación de fósiles y petroquímicos por otros basados en la oleoquímica y alcoquímica. La producción de combustibles biológicos y subproductos configuran un entramado productivo donde un sector productivo se vincula a múltiples cadenas de valor, tanto en la producción de los biocombustibles como en su etapa previa. Además de los típicos productos que pueden complementar o sustituir a los derivados fósiles, suelen producirse de manera asociada bioproductos con destinos alimenticios, farmacopéuticos, energéticos, etc.

## 1.2 Clasificación de los biocombustibles líquidos

Por sus propiedades fisicoquímicas, los biocombustibles se constituyen en productos complementarios y/o sustitutos de los derivados de la refinación de petróleo. Dentro de este conjunto de productos derivados, los combustibles fósiles más utilizados son la gasolina y el diésel o gasoil, que en 2017 representaron el 42 % y el 24 %, respectivamente, del total del consumo de productos derivados del petróleo a nivel hemisférico<sup>3</sup>. El diésel puede ser sustituido por el biodiésel a través de un proceso de transesterificación entre un aceite (habitualmente de soja, colza o palma) y un alcohol. La gasolina, por su parte, puede ser reemplazada por el bioetanol, resultante de un proceso de fermentación y destilación de materias primas con elevadas cantidades de azúcar, almidón o material lignocelulósico. También se pueden producir biocombustibles mediante otras materias primas y tecnologías.

Los biocombustibles pueden clasificarse en biocombustibles convencionales y avanzados. Aunque no hay criterios homogéneos a partir de los cuales realizar las clasificaciones, en general se tienen en cuenta la materia prima utilizada, el tipo de tecnología empleada y su desempeño ambiental en términos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

Los biocombustibles convencionales suelen estar asociados a los clasificados como “de primera generación” (materia prima derivada de cultivos que pueden destinarse a la alimentación humana), mientras que los avanzados se vinculan con los de segunda y tercera generación (utilización de materias primas lignocelulósicas y algas) y resultan en una mayor reducción de GEI.

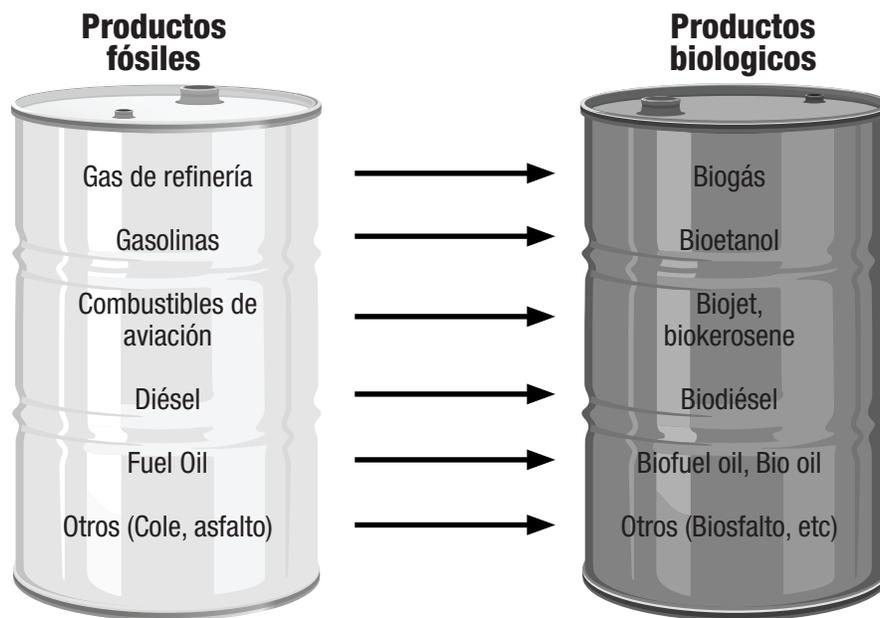
Con un grado de producción y consumo significativamente menor, pero con potencial de desarrollo, se destacan los usos marginales de los biocombustibles líquidos de aviación (bioqueroseno o biojet) y marítimos, también utilizados para la generación eléctrica (bio fueloil o bio oil).

3. Para más detalles sobre el consumo de combustibles fósiles, consultar British Petroleum 2019.

El craqueo de las moléculas de petróleo fósil resulta en un proceso productivo que da origen a una gama amplia de productos energéticos y no energéticos (asfaltos, solventes, etc.). De la misma manera, el craqueo y otros procesos fisicoquímicos para el tratamiento de la biomasa dan como resultados productos energéticos y no energéticos análogos.

A continuación, se detallan en forma esquemática los principales productos obtenidos en el proceso de refinación de petróleo y los productos sustitutos-complementarios resultantes de la biorrefinación de biomasa.

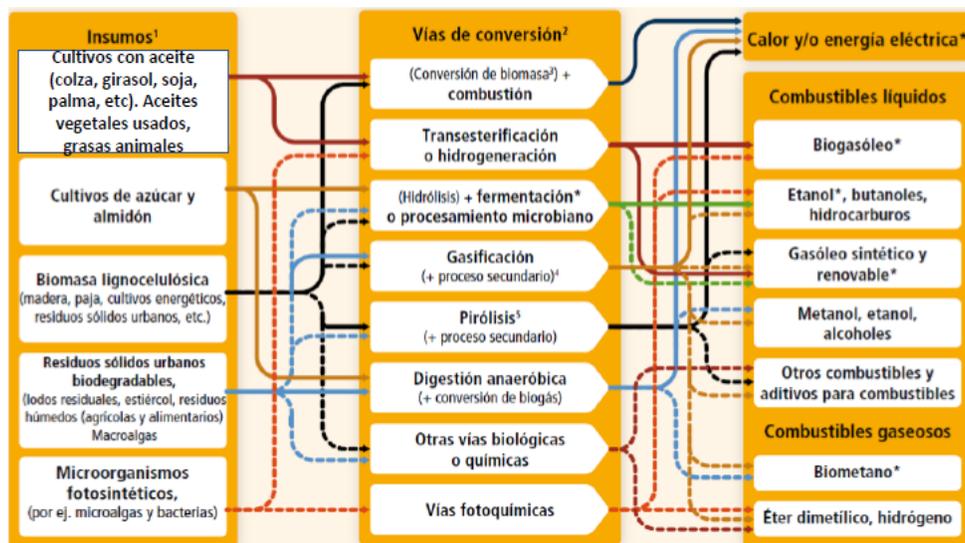
**Ilustración 1: Productos fósiles obtenidos de la refinación de petróleo y productos biológicos análogos obtenidos de la biorrefinación de biomasa.**



*Fuente: Elaboración propia.*

Existen productos biocombustibles que aún no se producen a escala comercial, tal como el biometanol, el biobutanol y el biohidrógeno, entre otros. El siguiente recuadro describe en forma esquemática las materias primas posibles de ser transformadas en biocombustibles, las rutas tecnológicas de conversión y los biocombustibles obtenidos:

**Ilustración 2:** Descripción esquemática de las distintas vías comerciales (líneas continuas) y en desarrollo (líneas punteadas) de la bioenergía a partir de insumos de biomasa (productos comerciales con asterisco).



Notas: 1. Ciertas partes de cada insumo pueden ser utilizadas a lo largo de otras vías. 2. Cada vía puede generar también coproductos. 3. Las mejoras de la biomasa pueden consistir en procesos de densificación (por ejemplo, la granulación, la pirólisis, la torrefacción, etc.). 4. Procesos de digestión anaeróbica de gases que pueden ser convertidos en biometano, esencialmente el metano, que es componente principal del gas natural. 5. Pueden ser vías de procesamientos térmicos diferentes, como los procesos hidrotérmicos, la licuefacción, etc. Otras vías consisten, por ejemplo, en la reformación de la fase acuosa. 6. Gasóleo y diésel, biogasóleo y biodiésel son sinónimos.

Fuente: Adaptado de IPCC 2011.

### 1.2.1 Biodiésel

El biodiésel tiene similares propiedades físicas y químicas al diésel fósil, por lo que se constituye en un producto que puede reemplazarlo, pero también funciona como un producto complementario, ya que se puede mezclar con diésel fósil y ambos productos forman un bien compuesto.

La cantidad de biodiésel contenida en diésel fósil se denomina “corte” o “mezcla”. Las mezclas se denominan Bx, siendo x la proporción de biodiésel contenida. De esta manera, una proporción de 5 % de biodiésel y 95 % de diésel es un corte o “mezcla” denominado B5. Si la proporción fuera 10 % y 90 % respectivamente, el corte sería denominado B10 y así sucesivamente. El biodiésel puro se denomina B100.

Para producir biodiésel se utilizan aceites, siendo los más utilizados los de soja, palma y colza. También pueden utilizarse otros materiales como sebo vacuno, aceites vegetales usados, aceite de ricino y jatropha, residuos biomásicos, etc.

El formato tradicional de producción consiste en un proceso en que la materia prima reacciona con un alcohol (habitualmente metanol) y un catalizador (el metilato de sodio es el más utilizado). Dicho proceso, denominado transesterificación, es el proceso químico más utilizado en la fabricación de biodiésel. Habitualmente, este proceso da lugar a biodiésel “FAME” (Fatty Acid Methyl Esters).

Adicionalmente, se destaca la producción de diésel renovable a través de un proceso diferente a la transesterificación de aceites o FAME. La producción de este tipo de biocombustibles, que también sustituyen al diésel fósil, se produce a través de la hidrogenación de aceites vegetales o grasas animales. El proceso se conoce como hydrogenated vegetable oil (HVO) y ya representa más del 10 % del biodiésel producido en el mundo. Este producto tiene características muy similares al diésel fósil y en su proceso productivo también se puede obtener una serie de subproductos de alta calidad: gasolinas, jet fuel y fuel oil, todos a través de materias primas biológicas.

En el caso del biodiésel con base en aceite de soja, el proceso inicial de crushing o molienda del poroto origina proporcionalmente los siguientes productos:

- 80 % de pellets, expellers y harinas proteicas con destino a alimentación animal y/o humana.
- 18-20 % de aceite con destino a la posterior producción de biodiésel.
- 0-2 % de residuos que pueden ser reutilizados en nuevos procesos para generar energía.

### Ilustración 3: Subproductos de la molienda de soja y producción de biodiésel.

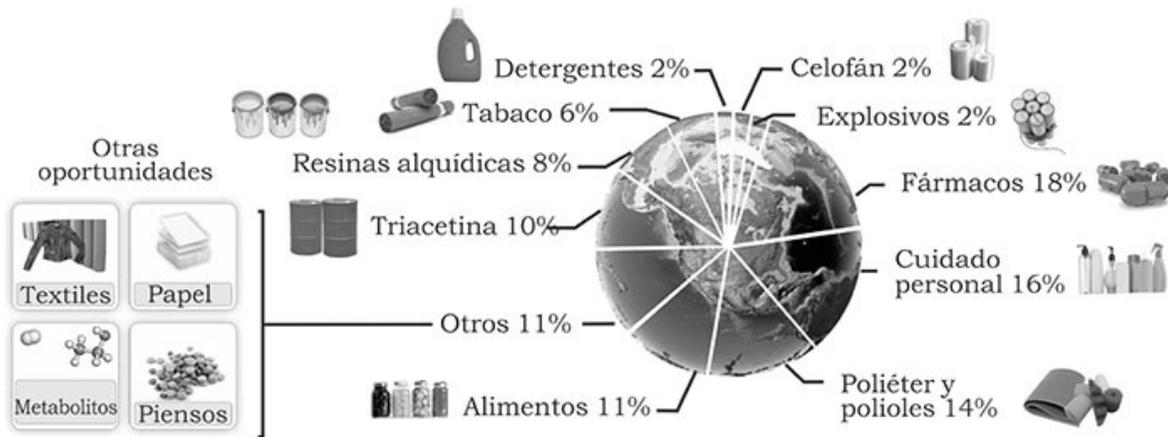


Fuente: CARBIO.

Es interesante notar como gran parte del proceso productivo termina dedicándose a fines alimenticios (80 %), mientras que una pequeña parte se orienta a fines de producción energética.

A su vez, el proceso productivo que da lugar al biodiésel produce en forma asociada glicerol, que tiene múltiples usos: cosméticos, farmacéuticos, textiles, militares y alimenticios, entre otros. En la infografía siguiente puede observarse los distintos destinos de la glicerina a nivel mundial.

**Ilustración 4: Destinos de la glicerina en el mundo.**

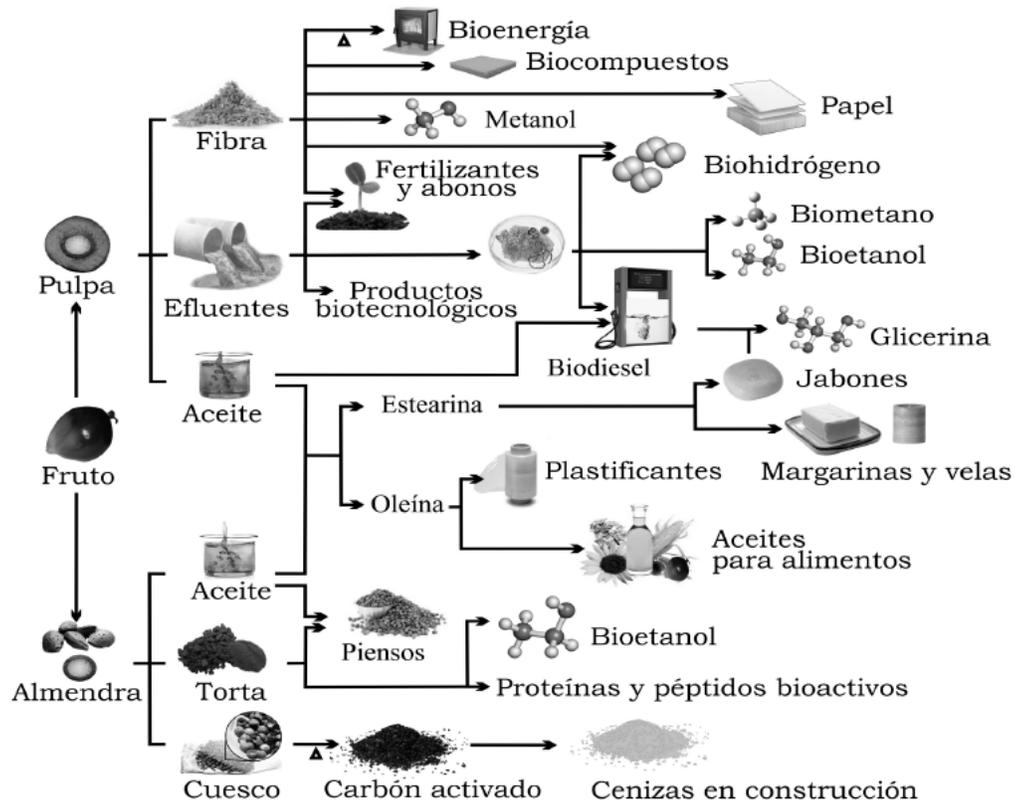


Fuente: Sierra-Márquez et al. 2017.

En cuanto a la producción de biodiésel con base en palma, cabe destacar que el proceso de obtención de aceite crudo para producir dicho biocombustible da origen a una amplia gama de subproductos con múltiples usos.

De acuerdo con Van Dam (2016), los principales subproductos son los racimos de fruto vacíos, la fibra de mesocarpio, el cuesco y la torta de palmiste. Estos materiales tienen un gran potencial para generar energía neutra en CO<sub>2</sub>, suplementar el carbono para suelos, promover el retorno de nutrientes y producir briquetas y pellets para co-combustión, aceite de pirólisis, biocarbón, pulpa de papel de celulosa, bioetanol lignocelulósico y alimentos animales, entre otros productos. Asimismo, el aceite de palmiste tiene usos alimenticios y oleoquímicos de alto valor.

**Ilustración 5: Usos bioeconómicos de la industrialización de la palma.**



Fuente: Sierra-Márquez, et al. 2017.

De acuerdo con FEDEPALMA (2016), la tasa de extracción de aceite crudo de palma en Colombia ha tenido un promedio del 20,4 %, porcentaje que puede variar de acuerdo con las zonas de producción y la aplicación de tecnologías. Dicho aceite puede utilizarse para producir biodiésel, mientras que el resto de los subproductos tienen las múltiples aplicaciones mencionadas.

Al igual que con el aceite de soja, la transesterificación de aceite de palma con un alcohol también dará origen a una combinación de ésteres metílicos o etílicos (biodiésel) y glicerina.

En los procesos productivos de biodiésel, la calidad del producto estará estrechamente vinculada a la materia prima utilizada. Por las características del aceite de palma, el biodiésel producido tendrá especificaciones de calidad en un rango distinto al elaborado con base en soja y colza. Entre otras cuestiones, se destaca que el punto de congelamiento se produce a temperaturas más elevadas utilizando palma. El biocombustible elaborado a partir de aceite de soja tiene un punto de congelamiento menor al de palma, pero superior al de colza. De esta manera, las condiciones climáticas pueden condicionar la materia prima utilizada para producir biodiésel<sup>4</sup>.

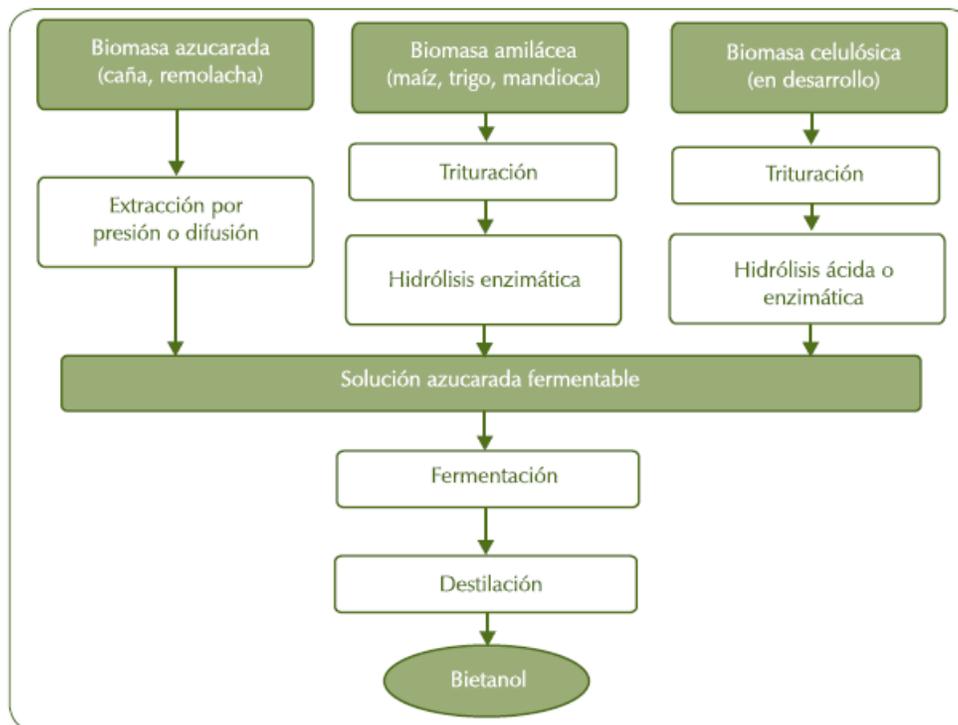
4. Para más información sobre las características técnicas vinculadas a las materias primas para la elaboración de biodiésel ver ARPEL e IICA 2009.

### 1.2.2 Bioetanol

El bioetanol es un alcohol etílico derivado de un proceso de fermentación de materias primas de alto contenido de azúcar (como la caña de azúcar, el sorgo o la remolacha azucarera), de cereales (como el maíz o el trigo) y/o de productos lignocelulósicos derivados de la biomasa. El mismo puede ser utilizado en motores de combustión tanto en mezclas con las gasolinas o, directamente, en reemplazo de estas. En forma similar al biodiésel, las mezclas se denominan Ex, siendo x la proporción de bioetanol contenida, y denominándose E100 al bioetanol puro.

La producción de bioetanol con base en azúcares, como el de la caña o el de la remolacha, es más sencilla respecto a los cereales, ya que implica una etapa menos en el proceso productivo, debido a que los azúcares están disponibles en la biomasa. En general, el proceso se basa en la extracción de los azúcares (por medio de la molienda), que pueden seguir directamente hacia la fermentación. Tras la fermentación, se destila el alcohol, así como en el caso de la producción basada en almidón.

**Ilustración 6: Materias primas y rutas productivas para la producción de bioetanol.**



Fuente: BNDES 2008.

La producción de bioetanol con base en caña de azúcar se puede realizar con dos insumos: jugo directo de caña y melaza, también denominada miel agotada<sup>5</sup>. Menos utilizado es el proceso de refundir azúcar crudo, pero también posibilita generar bioetanol. Al considerarse las ecuaciones químicas de la transformación de la sacarosa en bioetanol, resulta que 1 kg de azúcar permite, teóricamente, producir 0,684 litros de bioetanol anhidro<sup>6</sup>. Si, en cambio, se utiliza melaza o miel agotada, que es un subproducto de la producción de azúcar, se obtiene un resultado mucho menor. De esta manera, si el proceso productivo utiliza como insumo el jugo directo, se pueden producir más de 80 litros de bioetanol por tonelada de caña; si lo que se utiliza es la melaza agotada, se producen solo cerca de 12 litros por tonelada de caña procesada y el resto de la caña se transformará en aproximadamente 110/130 kg de azúcar<sup>7</sup>.

Al igual que la producción de biodiésel, la de bioetanol está vinculada a procesos que también originan otros subproductos. En el caso de la producción con base en caña de azúcar, el proceso también genera los siguientes subproductos:

- Bagazo y residuos agrícolas de cosecha (RAC), que pueden utilizarse para producir energía eléctrica, vapor, papel y/o bioetanol lignocelulósico.
- Vinaza, que se puede usar para producir biogás y proteínas unicelulares, así como bioabono para fertilizar la tierra o como combustible para quemar en calderas.
- Levaduras, que pueden usarse como suplemento alimenticio.
- Recupero de CO<sub>2</sub>, para la producción de bebidas espumantes y gaseosas y para la recuperación de hidrocarburos.
- Azúcar, en caso de que la producción sea mediante mieles agotadas y no a través de jugo directo.

La segunda vía para producir bioetanol tiene en los cereales a la materia prima principal. El proceso de conversión generalmente se inicia con la selección, la limpieza y la molienda del grano. La molienda puede ser húmeda, cuando el grano está embebido y fraccionado antes de la conversión del almidón en azúcar, o seca, cuando eso se realiza durante el proceso de conversión. En ambos casos, el almidón se convierte en azúcares mediante un proceso enzimático a altas temperaturas. Los azúcares liberados son fermentados con levaduras y el alcohol resultante sufre destilación para la purificación del bioetanol. Con una tonelada de maíz, que es el cereal más utilizado en la producción de este tipo de biocombustible, pueden producirse bioetanol y una serie de subproductos asociados que también agregan valor y permiten desarrollar actividades complementarias:

- DDGS/WDGS8 (distiller's dried/wet dried grains with solubles): burlanda seca y húmeda para alimentación animal. Aproximadamente un 33 % del maíz se convierte en este producto, que posteriormente se transformará en proteínas rojas y blancas (engorde a corral, tambos de ordeño, etc.).
- Aceite de maíz: para alimentación humana, producción de biodiésel y otros usos industriales.
- Recupero de CO<sub>2</sub>: Para bebidas espumantes, gaseosas y recuperación de hidrocarburos.

---

5. La melaza es parte de la caña de azúcar que en el proceso productivo de fabricación de azúcar se satura y no alcanza a cristalizar.

6. Para más detalles, consultar BNDES 2008.

7. Los rendimientos de alcohol y azúcar varían de acuerdo con las tecnologías y características de la materia prima.

8. Una clasificación más amplia de subproductos utilizada por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) es la siguiente: CDS: condensed distillers solubles; CDO: corn distillers oil; DDG: distillers dried grains; DDGS: distillers dried grains with solubles; DWG: distillers wet grains, 65% or more moisture; MDWG: modified distillers wet grains, 40% to 64% moisture.

- Vinaza: este subproducto, que tiene de 30 % a 35 % de proteínas solubles, puede mezclarse con los granos destilados o utilizarse para la generación de biogás.

**Ilustración 7:** Producción de bioetanol y productos derivados.



*Fuente: Elaboración propia.*

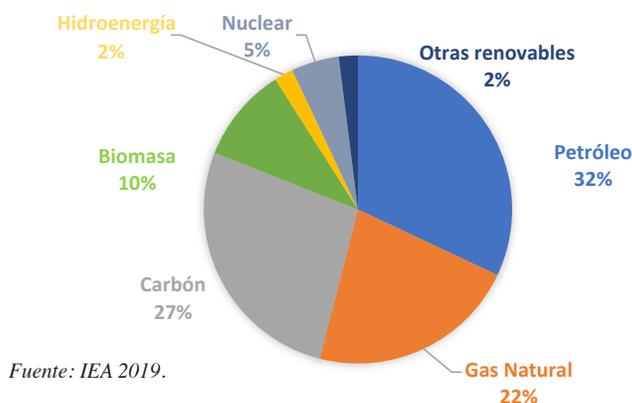
La tercera vía para producir bioetanol es a partir de la celulosa. Este tipo de producción implica procesos previos al de fermentación que son muy complejos, lo que encarece el proceso productivo. A pesar de que ya existen plantas para producir a escala comercial, su contribución a la producción total es aún marginal.

## 2. Situación actual, potencial y fundamentos de los biocombustibles en las Américas

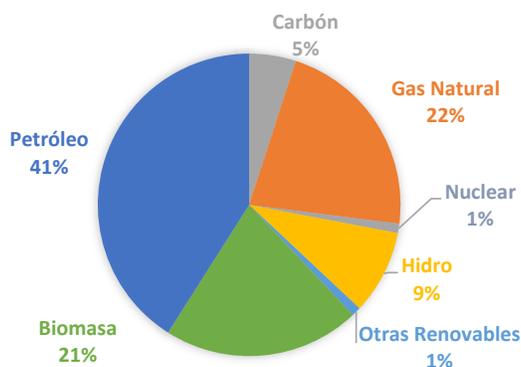
### 2.1 Situación actual y evolución reciente

La composición de las matrices energéticas<sup>9</sup> en el mundo y América Latina y Caribe (ALC) tiene una característica similar: la fuerte dependencia de las fuentes fósiles. De esta manera, el 81 % del consumo energético mundial lo constituyen el carbón mineral, el gas natural y el petróleo, mientras que casi el 70 % de la matriz de ALC tiene dicha configuración. De acuerdo con la International Energy Agency (IEA 2018), el sector energético fue el responsable del 72 % de las emisiones totales de GEI durante 2013, en el marco del cual los productos fósiles, especialmente el carbón y el petróleo, fueron las principales fuentes de emisión.

**Ilustración 8: Matriz energética mundial (2017).**



**Ilustración 9: Matriz energética de ALC (2017).**

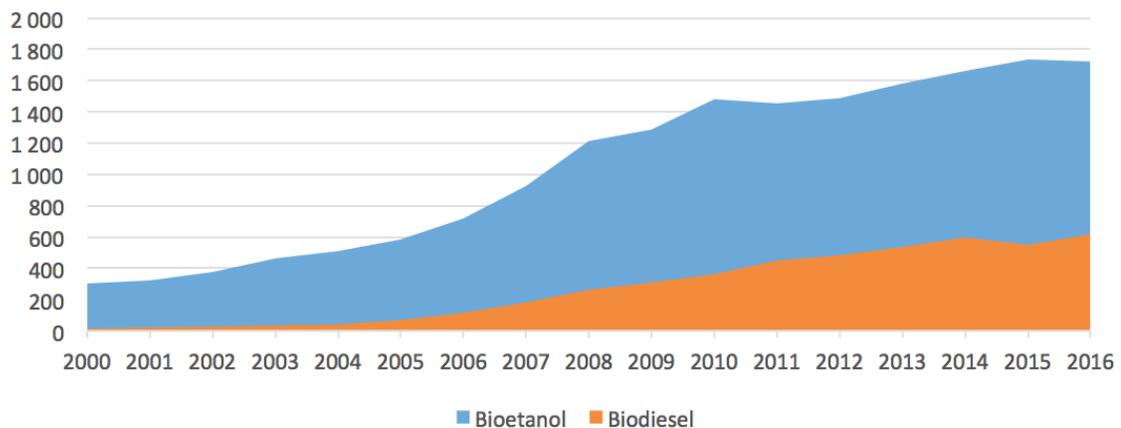


9. Se denomina “matriz energética” a la oferta primaria total de energía.

Luego del petróleo, el gas natural y el carbón, la biomasa se constituye como la cuarta fuente proveedora de (bio)energía, que resulta de la fotosíntesis vegetal, como parte de un proceso de captación de energía solar, CO<sub>2</sub>, agua y otros componentes. Esta fuente energética da cuenta del 10 % de la matriz energética global, mientras representa 21 % de la matriz energética de ALC.

Dentro de las bioenergías, el uso de los biocombustibles líquidos se ha triplicado en el mundo en poco más de diez años. Ello ha sido fuertemente motivado por políticas públicas de estímulo y por el avance en la productividad del sector que, en algunos casos, ha podido competir en precios con los combustibles fósiles.

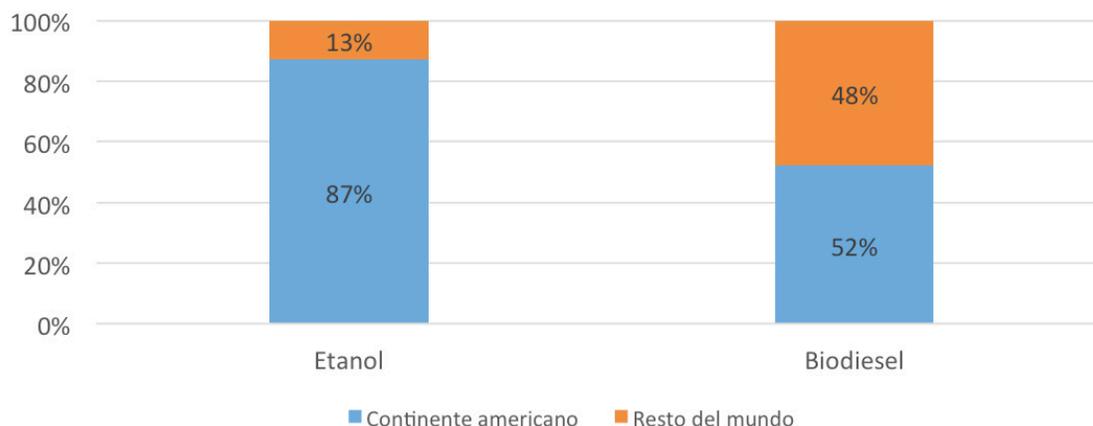
**Ilustración 10: Evolución del consumo de biocombustibles en el mundo (en miles de barriles por día).**



Fuente: U.S. Energy Information Administration 2019.

En este sentido, las Américas han tomado la iniciativa y su desarrollo ha sido verdaderamente promisorio: producen el 87 % del bioetanol del mundo y el 52 % del biodiésel. El uso de los biocombustibles se ha diseminado a lo largo del hemisferio con varias experiencias exitosas.

### Ilustración 11: Participación relativa en la producción de biocombustibles en el mundo (2016).



Fuente: U.S. Energy Information Administration 2019.

Además de producir gran parte del bioetanol del mundo, el uso de dicho biocombustible en el ámbito hemisférico se encuentra, en general, muy por encima del resto de los países del mundo. Se destaca el caso de Brasil<sup>10</sup>, con mezclas de bioetanol anhidro del 27 % en las naftas y la posibilidad de utilizar bioetanol hidratado puro, lo que en conjunto resulta en que el 44 % del consumo de gasolina se realice en forma de bioetanol. Asimismo, Paraguay tiene una mezcla obligatoria efectiva de bioetanol en gasolinas del 25 %, Argentina del 12 % y Colombia del 10 %. Por su parte, Estados Unidos tiene un uso promedio del 10 %, con diferentes mezclas en los estados, un esquema con surtidores de distribución y una tecnología que permite utilizar hasta 85 % de bioetanol (E85), también denominado flex americano.

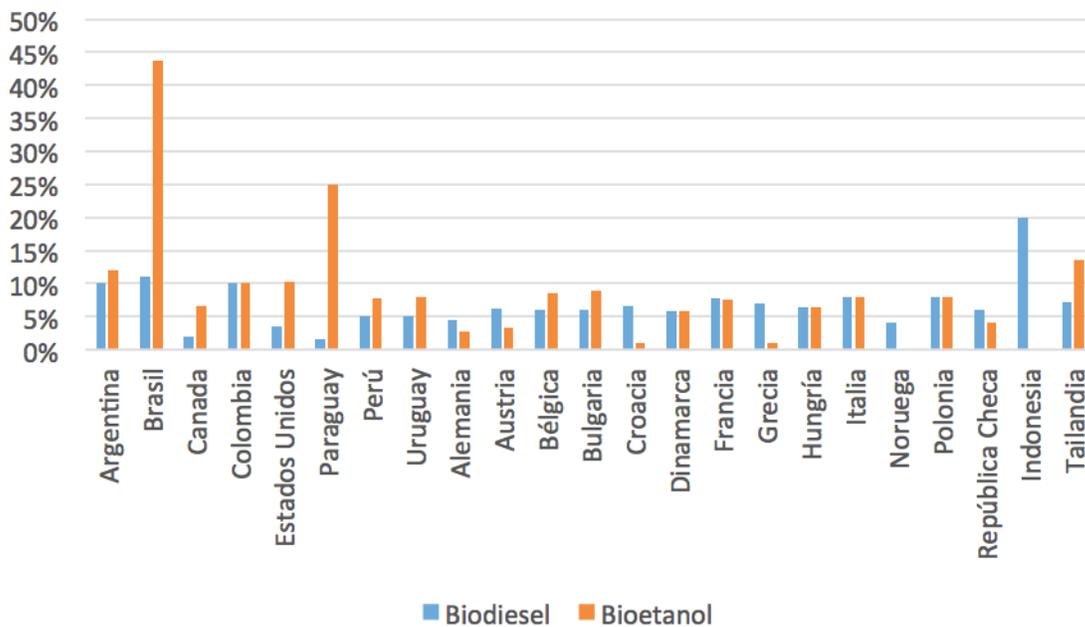
Las materias primas más utilizadas en las Américas para la producción de bioetanol son la caña de azúcar y el maíz. La primera es utilizada mayoritariamente por Brasil, país que ha industrializado el 64,5 % de la caña de la campaña 2019/2020 para la producción del biocombustible. Esta materia prima también es altamente utilizada en Colombia y Paraguay. Por su parte, Estados Unidos es el mayor productor mundial de etanol de maíz, y ha llegado a industrializar el 40 % del cereal para la producción de biocombustible. Argentina tiene un esquema mixto: produce el 50 % del bioetanol con base en maíz y el otro 50 % a partir de caña de azúcar.

Estos países tienen grandes excedentes de dichas materias primas: mientras que Brasil exporta el 38 % del azúcar del mundo, Estados Unidos exporta aproximadamente el 31 % del maíz y Argentina el 13 % de este. A nivel agregado, las Américas exportan el 66 % del maíz del mundo y el 51 % del azúcar, por lo que dispone de una gran cantidad para industrializarlo en forma de biocombustibles. Ello será detallado más adelante en el presente documento.

10. Brasil posee un sistema de bandas definidas anualmente, en que la mezcla de bioetanol anhidro en gasolinas puede fluctuar entre 18 % y 27,5 %.

Por su parte, el uso promedio de biodiésel automotor como porcentaje del diésel utilizado es liderado por Indonesia (20 %), cuyo como objetivo es aumentar su uso al 30 %. Le siguen países del continente americano: Brasil, que tiene una mezcla del 11 % y apunta a aumentarla 1 % por año hasta llegar a un B15 en el año 2023; Argentina y Colombia, con mezclas del 10 %; Uruguay, con un promedio del 5 % y Estados Unidos, con un 4 %.

**Ilustración 12: Uso promedio de biodiésel y bioetanol en países seleccionados (% v/v sobre diésel y gasolina total dedicada a uso automotor, 2018).**



Fuente: Elaborada con base en USDA 2019, REN 21 y legislaciones nacionales.

Las materias primas más utilizadas en el continente americano son el aceite de soja y la palma, mientras en Europa la materia prima más usada es el aceite de colza. Argentina y Estados Unidos producen el 100 % del biodiésel con base en soja, mientras Brasil produce el 80 % a partir de esa materia. Colombia, por su parte, utiliza el aceite de palma.

El uso de las materias primas está estrechamente vinculado a los excedentes de su producción. A nivel agregado, las Américas exportan el 72 % del total mundial de aceite de soja, sobresaliendo Argentina, que exporta aproximadamente el 41 % del aceite mundial de soja, Brasil el 11 % y Estados Unidos el 10 %. Colombia, por su parte, es el cuarto exportador mundial de aceite de palma, llegando a exportar el 1,5 % del total. Estos datos muestran que las Américas tienen una alta disponibilidad de materia prima que pueden industrializar para la producción de biocombustibles.

El uso de los biocombustibles les ha permitido a las Américas reducir las importaciones de petróleo y derivados en 30 %, así como reemplazar, a nivel agregado, el 11,6 % de las gasolineras con bioetanol y el 4,6 % del diésel con biodiésel.

## 2.2 Fundamentos del uso de los biocombustibles

De acuerdo con Georgescu-Roegen (1975) el término bioeconomía “tiene el propósito de recordarnos continuamente el origen biológico del proceso económico y así destacar el problema de la existencia de la humanidad con una limitada cantidad de recursos accesibles, desigualmente ubicados y desigualmente apropiados”.

De esta manera, las estrategias nacionales de desarrollo de los biocombustibles estarán, sin duda, condicionadas por la cantidad y calidad de recursos biológicos generados a través del proceso fotosintético, o en términos de Georgescu-Roegen por la “limitada cantidad de recursos accesibles, desigualmente ubicados y desigualmente apropiados”.

En este sentido, los fundamentos para el uso de los biocombustibles podrían variar de acuerdo con la disponibilidad y calidad los recursos biológicos de cada país, su capacidad para aprovecharlos, la disponibilidad de recursos naturales no renovables y la estructura económica productiva.

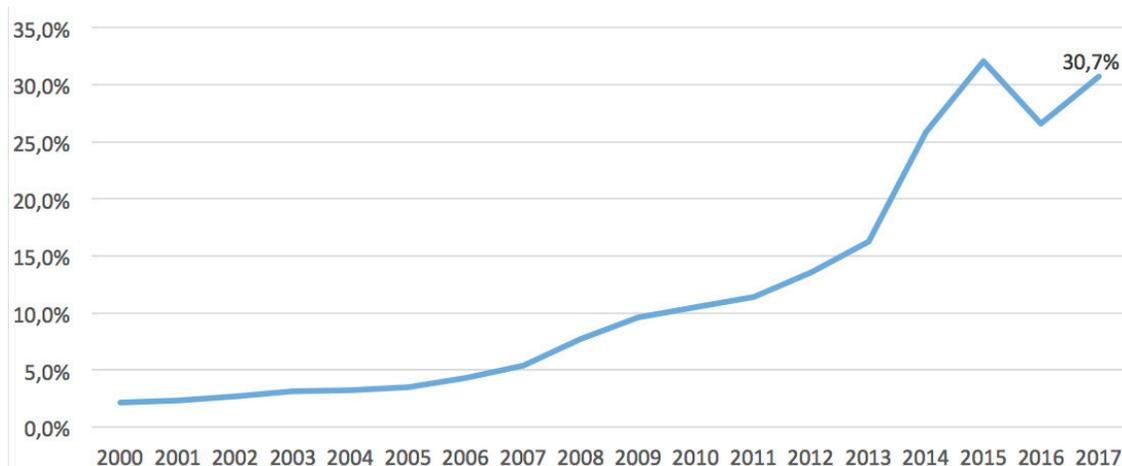
El origen biológico de los recursos que condicionan la diagramación de la estrategia de inversión y producción de bioenergías en general y de los biocombustibles líquidos, en particular, permite complementar y sustituir a productos hidrocarbúricos, ubicados en cuencas sedimentarias provenientes de un proceso de formación fósil de millones de años, por otro proceso diametralmente diferente basado en la captación de energía solar a través de un proceso de fotosíntesis “on time”<sup>11</sup>. En este sentido, los procesos de producción, distribución y consumo de combustibles biológicos se acortan a breves períodos vinculados a los ciclos naturales de producción de la biomasa y los ciclos sociales de procesamiento industrial, distribución y consumo de estos.

### 2.2.1 Diversificación de la matriz energética: sustitución fósil y seguridad energética

A nivel agregado, las Américas consumen 30 millones de barriles de petróleo por día. Su producción no les permite autoabastecerse, por lo que importan el 10 % del petróleo que consumen. El uso de biocombustibles les ha permitido reducir las importaciones de crudo en 30 %. Para producir dichos combustibles de origen biológico, se utiliza biomasa vegetal, insumo superavitario en el continente.

---

11. Concepto acuñado en Trigo et al. 2015.

**Ilustración 13: Reducción del déficit petrolero en América vía biocombustibles.**

Fuente: Elaborada con base en British Petroleum 2019.

Cabe recordar que la composición de las matrices energéticas en el mundo y ALC tiene una característica similar: la fuerte dependencia de las fuentes fósiles. De esta manera, el 81 % de la matriz energética mundial está formada por carbón mineral, gas natural y petróleo, mientras que aproximadamente el 70 % de la matriz de ALC tiene esa configuración. Los usos de los biocombustibles le permiten a la región disminuir la dependencia de las fuentes fósiles.

Adicionalmente, el continente utiliza más del 82 % de su capacidad de refinación de petróleo: el 18 % restante posee muchas unidades costosas y de baja escala. Nuevas inversiones en refinación implican montos de inversión muy elevados con saltos discretos en la capacidad productiva y un mix de productos derivados: gasolina, naftas de aviación, diésel, fuel oil, etc. Por el contrario, las inversiones en capacidades para producir biocombustibles requieren montos significativamente menores; además, aportan capacidad modular de producción y dan lugar al biocombustible buscado y no a un set de diferentes combustibles.

Asimismo, los biocombustibles poseen propiedades relacionadas con la evolución de las especificaciones técnicas y las calidades deseables de los combustibles fósiles, posibilitando que las mezclas de biocombustibles y fósiles den lugar a un producto final con algunas características superiores. Por mencionar algunos ejemplos en el caso del bioetanol, este se constituye como un antidetonante que posee entre 102 y 130 octanos<sup>12</sup>. Ello lo convierte en un mejorador octánico que ha permitido reemplazar a algunos mejoradores potencialmente riesgosos para el ambiente y la salud, que anteriormente se usaban en la formulación de gasolinas, como el metil tert-butil éter (MTBE)<sup>13</sup>, producto que ha sido prohibido en Estados Unidos, al igual que el plomo. En el caso del biodiésel, la escasa cantidad de azufre en dicho producto está en línea con las nuevas especificaciones de calidad del combustible diésel, las cuales tienden a reducir el contenido de azufre.

12. Para más información, consultar BNDES 2008.

13. EPA 1999.

En este caso, la producción de biocombustibles permite contar con fuentes de abastecimiento de energía propias, industrializando y agregando valor a los recursos biológicos de forma tal de lograr una mayor independencia y diversificación de la matriz energética.

### 2.2.2 Industrialización de la biomasa: valor agregado en origen, valor agregado exportable, diversificación productiva y generación de divisas

Como se mencionó anteriormente, la producción de biocombustibles se encuentra enmarcada dentro de una serie de procesos productivos “multiproductos” que permiten generar valor agregado a los productos derivados del sector agropecuario.

De acuerdo con la disponibilidad de recursos y la geografía económica de cada país, la industrialización de recursos biológicos se puede dar en zonas diferentes a las de la producción de la materia prima o, por el contrario, en zonas aledañas a ellas (generación de valor agregado en origen). Esto último está estrechamente vinculado al concepto de que la biomasa viaja “mucho y mal”. Ante la falta de infraestructura logística, en muchos casos resulta conveniente industrializar la materia prima en origen. A modo de ejemplo, a continuación se describen dos casos de agregación de valor en origen:

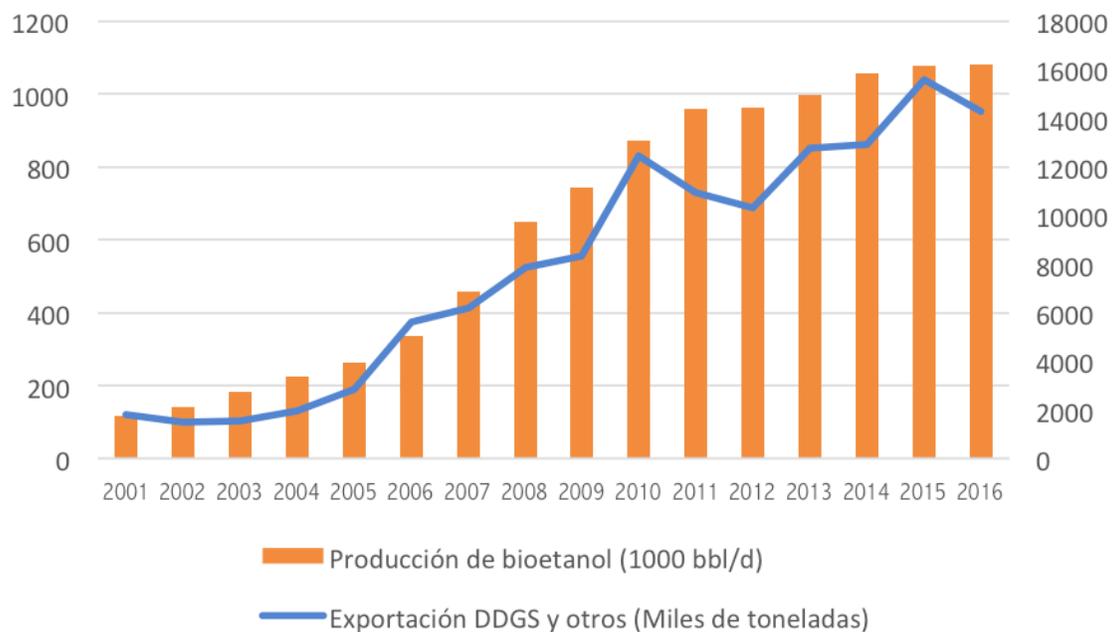
- (i) La producción de bioetanol de caña de azúcar: Por los costos de transporte de la materia prima, el rango de consumo de la caña no suele exceder los 60 km desde su punto de producción. Ello hace que los ingenios azucareros industrialicen en forma óptima toda la caña, ya sea para producir azúcar o los biocombustibles que venderán a los distribuidores o centros de consumos más cercanos. Dichos centros de consumo pueden ser importadores netos de gasolina, siendo la industrialización en origen una clara ventaja al disminuir costos logísticos. Adicionalmente, los subproductos suelen ser consumidos en las inmediaciones: el vapor generado a partir de bagazo suele ser utilizado por el ingenio para el proceso productivo, la bioelectricidad generada a partir del bagazo excedente o el RAC se consume en el proceso productivo o se inyecta en la red de distribución y el bioabono suele ser devuelto al campo.
- (ii) La producción de bioetanol de maíz: La insuficiencia de infraestructura económica para el traslado del maíz puede producir una situación en que los costos logísticos de traslados a puertos para exportación pueden resultar muy onerosos. Ello induce a industrializar el cereal en forma de bioetanol, percibiéndose en forma positiva el descuento de flete o “contraflete”. Bajo este esquema, las zonas aledañas pueden abastecerse de bioetanol para consumo y subproductos asociados: generalmente suelen desarrollarse actividades vinculadas al consumo de burlanda (DDGS/WGS) como tambos de ordeño, feed lots y centros de producción aviar.

Además de agregar valor, la producción de biocombustibles permite diversificar la producción, y en muchos casos, generar valor agregado exportable. Un ejemplo de ello es el caso del bioetanol en Estados Unidos. Cabe recordar que este país es el principal exportador mundial de productos agrícolas. De acuerdo con el US Grain Council (2019), basado en el informe FAZ del Departamento de Agricultura (USDA), de entre los 47 productos monitoreados en Estados Unidos por dicho

organismo, el de mayor crecimiento en exportaciones en los últimos cinco años es el bioetanol. Más de 6100 millones de metros cúbicos, valuados en USD 2700 millones llegaron a más de 80 países en el año 2018. Ello significó la industrialización de casi 16 millones de toneladas de maíz.

Asimismo, la exportación de los DDGS derivados de la producción de bioetanol ha crecido exponencialmente, representando más de USD 3000 millones en el año 2018. Las exportaciones de este subproducto se han incrementado en línea con el aumento de la producción de bioetanol, tal como se puede apreciar en el siguiente gráfico.

**Ilustración 14: Evolución de la producción de bioetanol y exportaciones de DDGS en Estados Unidos.**



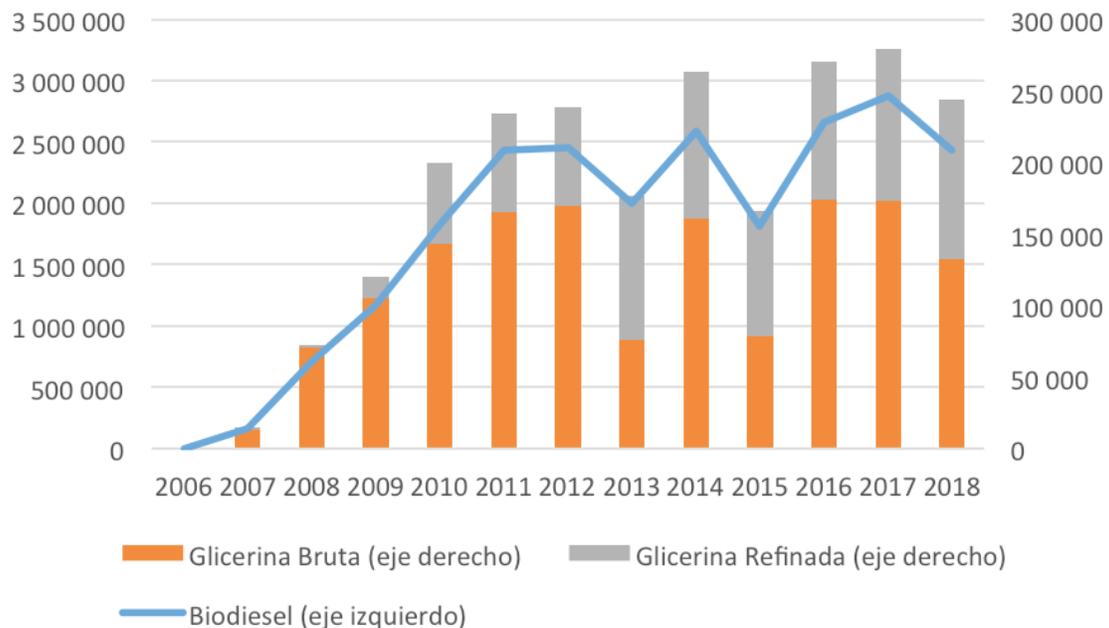
Fuente: Elaborada con base en ITC (Trade Map) y U.S. Energy Information Administration.

En el caso del biodiésel, el desarrollo de subproductos asociados a su proceso productivo ha permitido agregar valor al negocio, ya que ha posibilitado inversiones adicionales, especialmente en el mercado de la glicerina. Un ejemplo de ello es Argentina, país que, previo a la instalación de sus plantas de biodiésel, no producía dicho subproducto y que, luego de la creación de esa industria, en 2017 llegó a exportar el 7,5 % de la glicerina total del mundo y ha construido tres plantas de refinación de glicerina, lo que le ha permitido cuadruplicar el precio de venta del producto.

En el siguiente gráfico, se puede observar cómo Argentina expandió su exportación de glicerina en sintonía con la producción de biodiésel. Previo al comienzo de la producción de biodiésel, en el año 2007, el país no generaba valor agregado exportable a través de dicho subproducto. Con

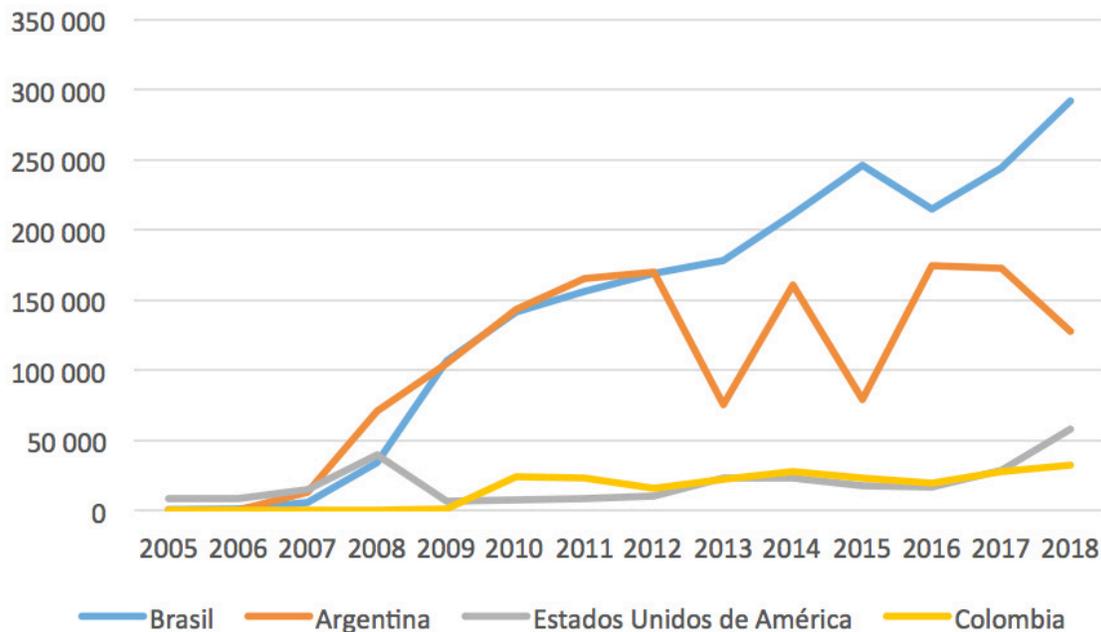
el comienzo de la producción de biocombustibles, la fabricación de glicerina, orientada al mercado externo, se movió proporcionalmente al biodiésel. Adicionalmente, la instalación de plantas de refinación de glicerina permitió la producción de este subproducto de valor agregado adicional, el cual se ha exportado a precios que han llegado a cuadruplicar al de la glicerina bruta.

**Ilustración 15: Evolución de la producción de biodiésel en Argentina y las exportaciones de glicerina total (ambas en toneladas).**



Fuente: Elaborada con base en datos de la Secretaría de Energía de Argentina e INDEC.

El caso se replica con el comienzo de los mandatos obligatorios de biodiésel en Brasil y Colombia. En ambos casos, la generación de valor agregado exportable del subproducto del biodiésel permitió que ambos países realizaran el 13,4 % y el 5,1 % de las exportaciones de glicerina cruda, respectivamente. Estados Unidos, país que también produce el mencionado biocombustible ha seguido el mismo camino. En la siguiente ilustración, se puede observar cómo a partir del año 2006, momento en que comienza a tomar dimensión la producción de biodiésel, las exportaciones de glicerina cruda asociada toman especial relevancia en los cuatro principales productores del continente.

**Ilustración 16:** Exportaciones de glicerina bruta (en toneladas).

Fuente: Elaborada con base en ITC (Trade Map).

Los biocombustibles, además, permiten diversificar parte de la matriz productiva, industrializando exportaciones primarias, disminuyendo la exposición a los vaivenes de los precios de los commodities de aquellos países exportadores y generando divisas que ayudan a fortalecer las cuentas externas de los países.

Las características descritas en este punto contribuyen a cumplir con dos de los objetivos estratégicos del Plan de Mediano Plazo del IICA para el período 2018-2022: aumentar las contribuciones del sector agropecuario al crecimiento económico y al desarrollo sostenible y contribuir a mejorar el comercio internacional y regional de los países de la región”<sup>14</sup>.

### 2.2.3 Generación de empleos y desarrollo de los territorios rurales

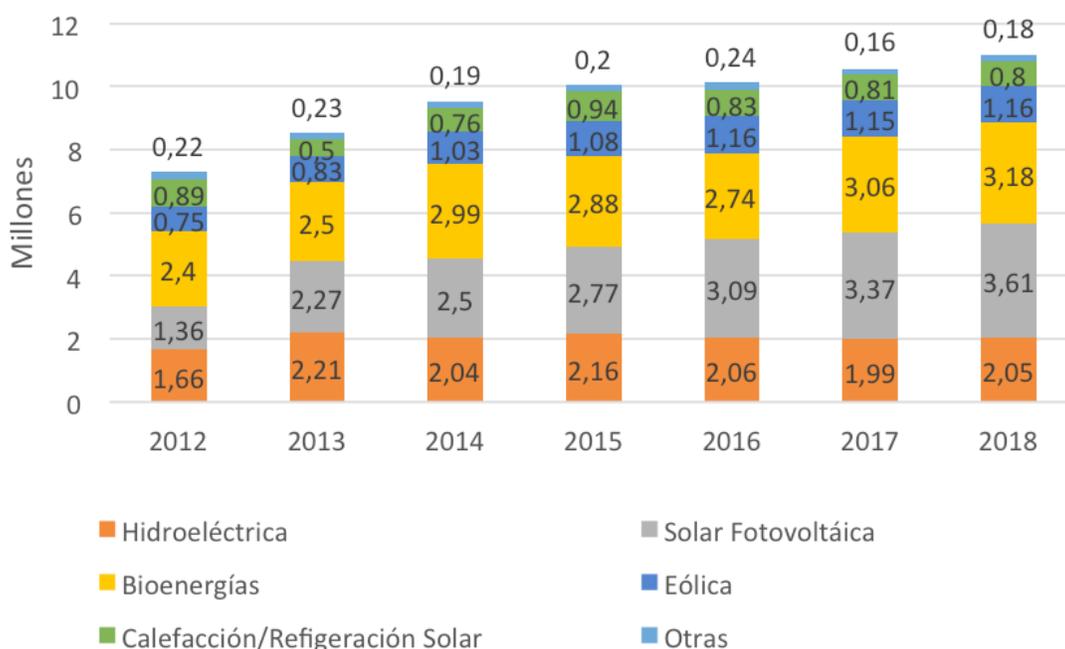
Los cambios impulsados por el uso eficiente de la biomasa para producir biocombustibles, además de generar valor agregado, descarbonizar y disminuir la dependencia de los combustibles fósiles, desempeñan un rol protagónico en la generación de empleo.

14. El IICA definió sus objetivos en su Plan de Mediano Plazo para el período 2018-2022. Muchos de ellos encuentran vínculos con el desarrollo bioeconómico de senderos particulares, como el caso de los biocombustibles. Como se ha descrito y como se verá a continuación, el desarrollo de este sendero guarda especial relación con los objetivos que se ha planteado el Instituto.

De acuerdo con el Banco Mundial (2019), en 2018 la tasa de desempleo de ALC se ubicó por segundo año consecutivo por encima del 8 %. Ello equivale a más de 25 millones de personas en condiciones de trabajar desempleadas. Adicionalmente, de acuerdo con datos de la Organización Internacional del Trabajo (OIT), más de 20 millones de trabajadores empleados viven en la pobreza extrema o moderada.

De acuerdo con la IRENA (2019), en 2018 las bioenergías generaron 3,18 millones de puestos de trabajo, lo cual equivale al 30 % del total de empleos en energías renovables.

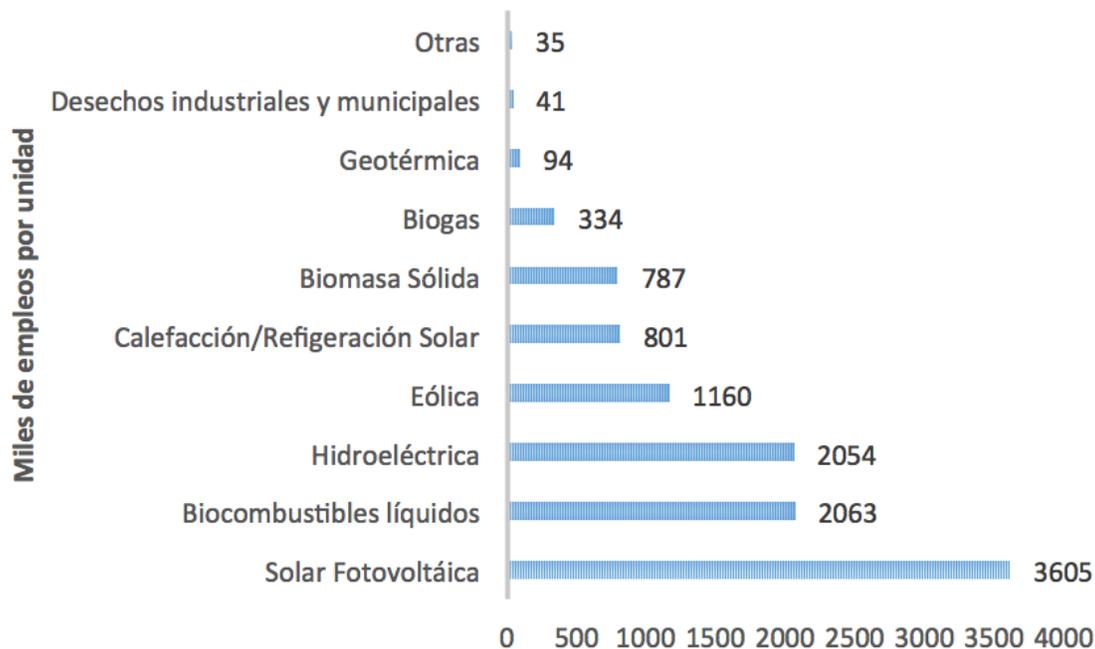
**Ilustración 17: Generación de empleos por tipo de energía renovable.**



Fuente: Elaborada con base en IRENA (2019).

En particular, los biocombustibles líquidos han empleado 2,063 millones de personas, con un crecimiento interanual de 6 % y que representa el 68 % de los empleos generados por las bioenergías.

Asimismo, el empleo generado en el sector de los biocombustibles a nivel mundial está fuertemente concentrado en el ámbito hemisférico: ALC emplea el 50 % de los puestos de trabajo en biocombustibles líquidos del mundo, mientras que Norteamérica el 16 %. Brasil encabeza el listado de países con mayor empleo en biocombustibles, empleando 832 000 personas.

**Ilustración 18: Generación de empleos por tipo de energía renovable.**

Fuente: IRENA 2019.

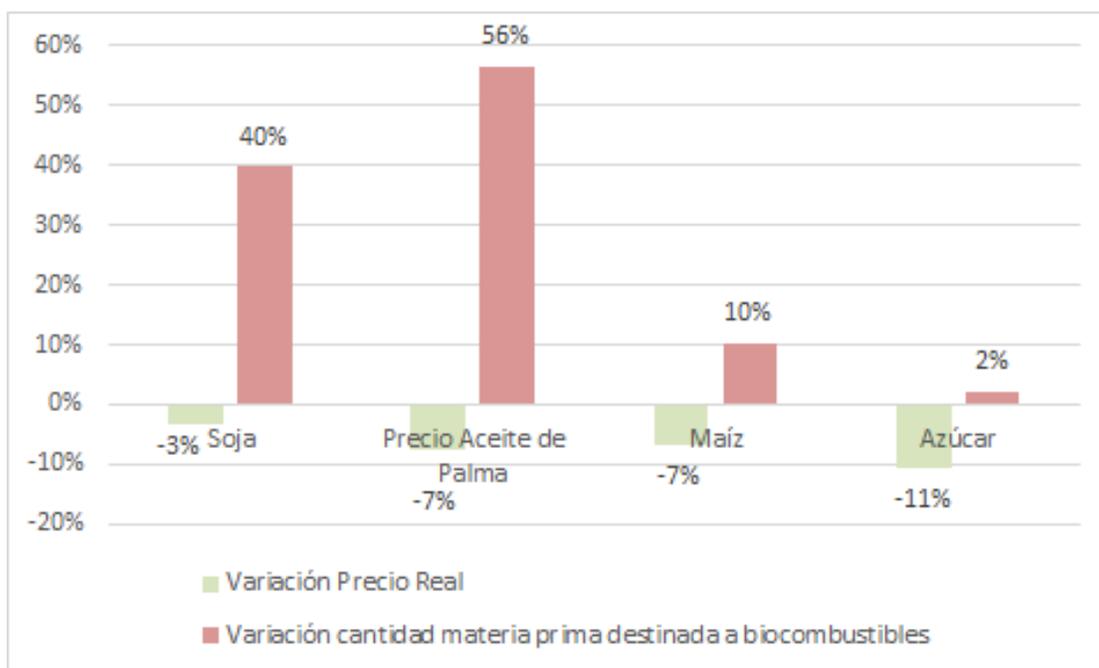
De esta manera, los biocombustibles, en particular, y las bioenergías, en general, se encuentran en el segundo lugar del podio mundial de generación de puestos de trabajo dentro de las energías renovables. El continente americano capta el 66 % de los puestos de trabajo generados en el ámbito mundial por los biocombustibles líquidos, lo que constituye un factor adicional que fundamenta la producción y desarrollo de estos.

El impacto adicional en el upstream agropecuario vinculado a la producción de los biocombustibles guarda estrecha relación con el crecimiento en la demanda de las materias primas y su impacto en los precios. De acuerdo con IICA (2020), el 16 % de la producción mundial de maíz en 2019, el 20 % de la de caña de azúcar, el 19 % de la de aceite de soja y el 16 % de la de aceite de palma se destinaron a biocombustibles.

El desvío de la producción de materia prima derivada de cultivos, especialmente plurianuales, cuando los precios de los commodities vinculados no son atractivos, puede resultar sumamente provechoso para los productores agropecuarios. Ello genera una demanda más estable de las materias primas, cuyo efecto sobre los precios no está del todo claro. Diversos estudios señalan aspectos que podrían tener efectos diversos sobre los precios de las materias primas agrícolas. Si bien el consenso no es generalizado, parece que el impacto de la producción de biocombustibles en los precios agrícolas no guarda la dimensión que se consideró en un principio, con el alza generalizada del precio de las materias primas en 2007-2008.

Con especial atención a los datos de los últimos años, se observa que entre los años 2015 y 2018, la utilización de aceite de soja destinada a la producción de biodiésel aumentó 40 %; sin embargo, el precio de la soja disminuyó -3 %, mientras que el precio del aceite de soja tuvo un aumento marginal de 0,3 %. Por su parte, el destino de aceite de palma a la producción de biocombustibles, en el mismo período, aumentó 56 %, mientras que su precio real descendió -7 %. Asimismo, el consumo de maíz para bioetanol aumentó 10 % y el de azúcar 2 %, mientras que sus precios reales disminuyeron -7 % y -11 %. De acuerdo con estos datos, en los últimos años, el mayor destino de materias primas a la producción de biocombustibles no se ha visto reflejado en un sustancial incremento de los precios, sino que tal vez contuvo una baja mayor.

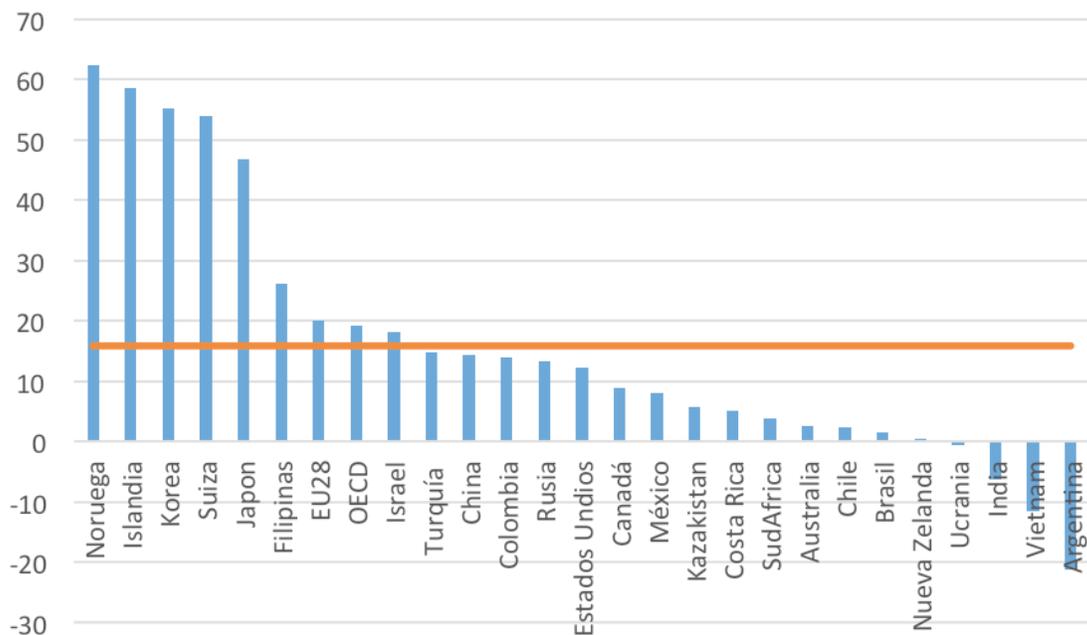
**Ilustración 19: Variación del precio real de las materias primas y las cantidades dedicadas a la producción de biocombustibles para el período 2015-2018.**



Fuentes: Banco Mundial 2019 y F. O. Licht 2019.

La existencia de mayores precios a los productos agrícolas está implícitamente presente a través de diversos programas de transferencia, vía subsidios directos o con precios sostén que los Estados realizan en favor de los productores agrícolas en muchos países. Un índice elaborado por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) encuentra que, sobre un total de 55 países evaluados en 2018, 51 realizaban alguna acción que implicaba mayores ingresos recibidos para los productores agrícolas. El posible impacto positivo del uso de biocombustibles en los precios de las materias primas agrícolas está en línea con las necesidades de mayores ingresos para el sector en numerosos países.

**Ilustración 20: Apoyo a la agricultura – índice de apoyo al productor, como porcentaje de los ingresos recibidos.**



Fuente: OECD 2019.

Lo cierto es que la producción de biocombustibles asegura una demanda más estable sobre algunas materias primas. En algunos casos, como la soja, hay que recordar que solo el 18 % del poroto deriva en aceite de soja, con lo cual el impacto será más restringido.

La importancia del uso de determinadas materias primas para producir biocombustibles toma relevancia en algunos países particulares. Ejemplo de ello son la caña de azúcar en Brasil, país que ha dedicado en la zafra 2019/2020 el 64,5 % de su producción a bioetanol. Aun así, sigue siendo el principal productor y exportador mundial de azúcar (38 % de las exportaciones globales) en un mercado con los precios más bajos de la última década. Sin duda, la demanda de caña de azúcar para bioetanol les ha permitido a los productores agropecuarios colocar sus productos con una demanda más firme en un contexto de precios poco favorable.

Algo similar ha ocurrido con el bioetanol de maíz: entre 2011 y 2018 el precio disminuyó 48 %, mientras que la producción de bioetanol con base en esta materia prima ha crecido incesantemente. Sin duda, la utilización de maíz para bioetanol ha permitido amortiguar la disminución del precio, al igual que en la caña de azúcar.

La demanda más estable de materias primas y su posible impacto positivo en los precios pueden favorecer a un núcleo postergado en ALC: el perteneciente a la agricultura familiar, donde

trabajan 60 millones de personas. De acuerdo con el IICA (2018), en ALC la población rural concentra un porcentaje de pobreza de 46 %, muy por encima de las medias nacionales. Este grupo poblacional puede verse favorecido indirectamente por los mayores precios y una demanda más sostenida de materias primas destinadas a los biocombustibles<sup>15</sup>. En este sentido, un aumento en los precios implicaría una redistribución de los ingresos en favor de la población más afectada por la pobreza.

Adicionalmente, Martinelli et al. (2011) realizaron un estudio para Brasil, en el cual destacan que el valor agregado de los componentes de la producción de caña de azúcar vinculada a la generación de etanol y azúcar podría tener un fuerte efecto positivo sobre el desarrollo humano local, en comparación con la producción de otras actividades agropecuarias. De acuerdo con el mencionado estudio, los resultados arrojaron que dicho fenómeno está vinculado al estímulo del desarrollo rural promovido por la industria asociada al proceso productivo posterior.

De esta manera, la producción de biocombustibles contribuye a mejorar el bienestar de los habitantes en los territorios rurales, objetivo estratégico del Plan de Mediano Plazo del IICA<sup>16</sup>.

Finalmente, hay que destacar que la producción de biocombustibles puede operar como una reserva o buffer de materias primas ante eventuales crisis por pérdidas de cosechas<sup>17</sup>.

#### 2.2.4 Cuestiones ambientales

La bioeconomía, como paradigma productivo, tiene el doble desafío de impulsar el desarrollo económico y promover un modelo en línea con los desafíos ambientales actuales. En tal sentido, el uso de biocombustibles debe contribuir a la descarbonización, en contraposición a los sustitutos fósiles, que, de acuerdo con la IEA (2018), en 2013 aportaron el 72 % de las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes.

En tal sentido, muchas legislaciones atan la autorización del uso de biocombustibles a la existencia de una certificación de la disminución de emisiones en comparación con sus sustitutos fósiles. Por ejemplo, la UE, en su Directiva 2009/30/CE, asigna los siguientes porcentajes obligatorios de ahorros de emisiones respecto a sus sustitutos fósiles:

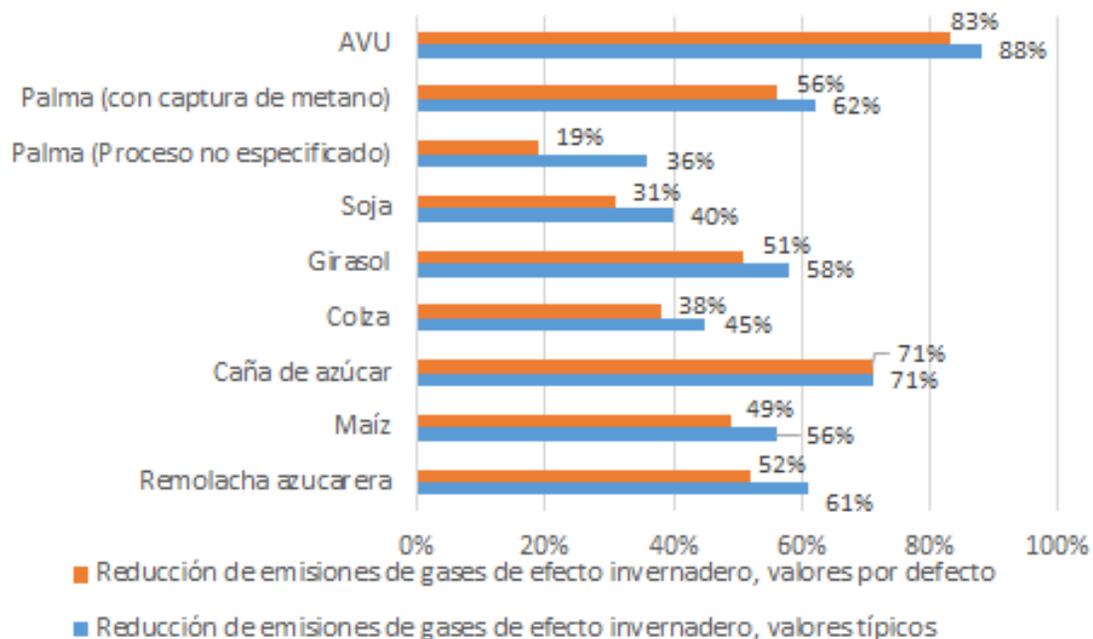
---

15. En el mundo la situación de la pobreza también se acentúa en el plano rural. Se estima que del 70 % al 80 % de los pobres (630-720 millones de personas) se ubican en territorios rurales (Mendes Souza et al. 2015).

16. Para más información sobre los objetivos del Plan de Mediano Plazo 2018-2022 del IICA, consultar en [http://apps.iica.int/SReunionesOG/Content/Documents/CE2018/1198ae13-b7f2-40c8-a1aa-7f8215bcc9d8\\_dt678\\_propuesta\\_del\\_plan\\_de\\_mediano\\_plazo\\_20182022.pdf](http://apps.iica.int/SReunionesOG/Content/Documents/CE2018/1198ae13-b7f2-40c8-a1aa-7f8215bcc9d8_dt678_propuesta_del_plan_de_mediano_plazo_20182022.pdf).

17. Adicionalmente, es necesario trabajar en otros aspectos relacionados con la seguridad alimentaria. “Sólo en ALC se pierden 127 millones de toneladas de alimentos al año, es de toneladas de alimentos al año, cantidad suficiente para satisfacer las necesidades alimenticias de 300 millones de personas” (datos de la FAO, citados en IICA 2019). Asimismo, el mencionado organismo destaca que un tercio de los alimentos producidos para consumo humano se pierde o desperdicia a nivel mundial; es decir, 1300 millones de

**Ilustración 21:** Valores típicos y valores por defecto para los biocarburantes producidos sin emisiones netas de carbono debidas a cambios en el uso del suelo.



Fuente: UE, Directiva 2009/30/CE.

Brasil, por su parte, estableció en diciembre de 2017, dentro de su Política Nacional de Biocombustibles, el programa *RenovaBio*. Este se basa en objetivos anuales de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> con obligaciones directas de cumplimiento para los distribuidores. Además, se incorporaron certificados para los biocombustibles en virtud de la reducción de emisiones y créditos de descarbonización (CBIO). Es importante destacar que la obligación recaer, novedosamente, en la figura del distribuidor, agente de gran relevancia en el mercado del bioetanol en Brasil.

Según el nivel de emisiones y materias primas utilizadas, la United States Environmental Protection Agency (EPA) clasifica a los biocombustibles en virtud de la disminución de emisiones en:

- Combustibles renovables convencionales: reducción de GEI mayor o igual a 20 %.
- Biocombustibles avanzados: reducción de GEI mayor o igual a 50 %.
- Biocombustibles celulósicos: reducción de GEI mayor o igual a 60 %.
- Diésel a partir de biomasa: reducción de GEI mayor o igual a 50 %.

La performance de la reducción de GEI de los biocombustibles, tomando el ciclo de vida del producto, varía de acuerdo con múltiples factores, y está especialmente vinculada con los rendimientos agrícolas y las tecnologías aplicadas en el proceso de producción primaria e industrial.

De acuerdo con Chidiak et al. (2018), para estudios realizados en Argentina, el valor promedio nacional de la reducción de emisiones de biodiésel, considerando el cambio en uso del suelo, arroja un descenso de entre 51 % y 72 %, dependiendo del escenario de cambio de uso del suelo contemplado, en comparación con los sustitutos fósiles<sup>18</sup>. Para el caso del etanol de caña de azúcar, el valor promedio nacional de reducción de emisiones varía entre 64 % y 62 %, dependiendo del combustible de referencia considerado. Análisis realizados por Hilbert et al. (2016) en la industria del bioetanol de maíz mostraron reducciones del 66 % en las emisiones de CO<sub>2</sub> en comparación con las gasolinas.

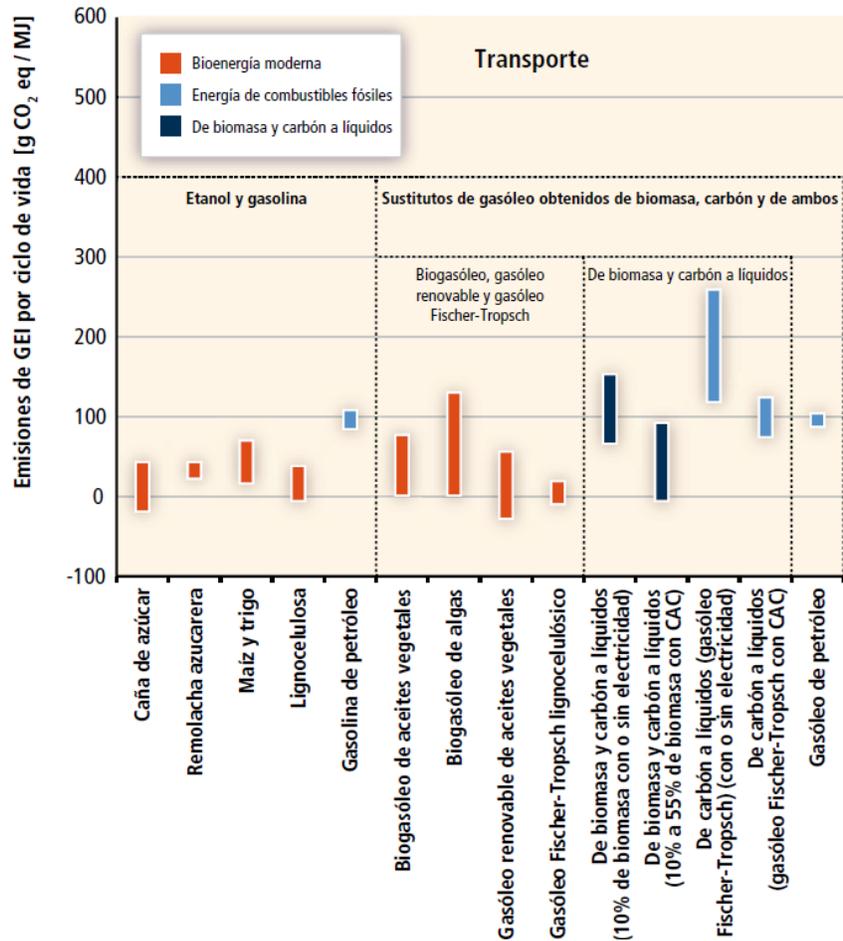
En Colombia, según estudios de Gauch (2013), se ha observado la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> de 83 % para biodiésel de palma y de 74 % para bioetanol de caña de azúcar.

De acuerdo con el IPCC (2011), el “buen uso de la bioenergía puede reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en forma significativa en comparación con las alternativas fósiles”. En este sentido, resulta necesario establecer mediciones nacionales de las emisiones de GEI del ciclo de vida de los biocombustibles de acuerdo con las diferentes materias primas, con el fin de corroborar las ventajas medioambientales. Adicionalmente, se debe prestar especial atención al cambio en el uso de la tierra cultivable. El mencionado informe del IPCC destaca que, cuando se convierten tierras de alto contenido en carbono (bosques) en tierras destinadas al cultivo de biocombustibles, se puede tardar varias décadas (y hasta siglos) para recuperar las emisiones netas derivadas del cambio del uso de suelo. Por el contrario, el uso de tierras marginales para producir materia prima destinada a biocombustibles que reemplacen a los fósiles maximiza el ahorro de emisiones.

---

18. Ver también Hilbert y Galbusera 2011.

**Ilustración 22:** Rangos de emisiones de GEI por unidad de energía generado (MJ).



Nota: Se incluyen diferentes materias primas y otras tecnologías comerciales y en desarrollo (biocombustibles de algas, síntesis Fischer-Tropsch, etc.). Los cambios en los stocks de carbono derivados del cambio en el uso de suelo están excluidos.

Fuente: IPCC 2011.

Adicionalmente a los objetivos de reducción de emisiones, se deben garantizar las mejores prácticas medioambientales en la producción de biocombustibles en lo que respecta al manejo y disposición de efluentes asociados. En casi todos los casos, dichos efluentes tienen posibilidades de ser utilizados como subproductos para producción de energía, bioabono, etc. Una cuestión extra es asegurar que la producción de biocombustibles tenga una tasa de retorno energética que asegure la sostenibilidad de la industria<sup>19</sup>.

19. La tasa de retorno energética, más conocida como “energy return on investment (EROI)” es el ratio entre la energía contenida en un producto y la cantidad de energía necesaria para obtener dicho producto. Dicha tasa es muy variable tanto para los productos fósiles (gas, petróleo y carbón), dependiendo del tipo de explotación (convencional, no convencional, on shore, offshore, etc.), como para los biocombustibles, donde el tipo de materia prima utilizada, la tecnología utilizada en la cosecha y los rendimientos de esta, así también como la tecnología industrial y la valuación de los subproductos, influyen en la energía que se obtiene y la que se invierte, variando de esta forma la EROI.

Es importante resaltar que los procesos de certificación de la reducción de emisiones de GEI y de trazabilidad de materias primas provenientes de zonas libres de deforestación o protección de biodiversidad deben ser procesos ágiles; además, no deben convertirse en medidas paraarancelarias destinadas a restringir el comercio global de biocombustibles.

### Recuadro 1: Los biocombustibles y los ODS.

Gracias a su potencial para generar nuevas fuentes de crecimiento económico inclusivo y sostenible y contribuir a la descarbonización de la economía, el desarrollo sostenible de la industria de los biocombustibles puede ser una estrategia relevante para lograr los ODS dirigidos a:

- a. Reducir la pobreza (objetivo 1).
- b. Garantizar la salud y el bienestar (objetivo 3).
- c. Garantizar la disponibilidad de energía limpia y asequible (objetivo 7).
- d. Crear nuevas fuentes de ingresos y empleo (objetivo 8).
- e. Promover la innovación y la renovación industrial (objetivo 9).
- f. Lograr la mayor sostenibilidad de las ciudades y comunidades (objetivo 11).
- g. Impulsar la mitigación y adaptación al cambio climático (objetivo 13).

## 2.3 Potencialidad de los biocombustibles en el continente americano

Como se mencionó, el uso de los biocombustibles forma parte de la transición hacia la utilización de energía más limpia que contribuya a reducir los GEI. En ese sentido, dentro del marco de la estrategia general de la bioeconomía, los biocombustibles promueven un camino más limpio para la producción de energía, a la vez que colaboran al crecimiento y desarrollo mediante la industrialización de los recursos biológicos de los países.

La disponibilidad de recursos biológicos, materias primas y tecnologías y los costos de producción son determinantes para evaluar la potencialidad de producir cantidades adicionales de biocombustibles. En este sentido, el 90 % del biodiésel es producido con base en tres tipos de aceite: soja, palma y colza<sup>20</sup>. La producción a partir de aceite de girasol, coco y desechos es marginal y responde tanto a la disponibilidad relativa de las materias primas como a los costos de producción.

En forma similar, la producción de bioetanol se concentra fuertemente en la utilización de maíz y caña de azúcar. La producción basada en otras materias primas, como mandioca y remolacha azucarera, representa un bajo porcentaje en el agregado mundial. En la misma dirección, el uso de material lignocelulósico aún no ha tomado mayor dimensión. En este sentido, si bien la disponibilidad tecnológica permite la producción innovadora utilizando este último tipo de materias primas, los costos de producción se constituyen como una barrera de magnitud.

20. Estos tres cultivos se utilizan para producir el 78 % de la producción mundial de aceites vegetales.

La llamada química verde orientada a los biocombustibles ayuda a reemplazar las importaciones de petróleo y derivados, que en el ámbito del hemisferio representan 3,5 millones de barriles por día. En este sentido, el continente puede aprovechar el hecho de que es la región exportadora neta de biomasa por excelencia. De esta manera, cada país podría aprovechar sus excedentes para desarrollar una estrategia al respecto. La disponibilidad tecnológica actual permite utilizar amplios rangos de biocombustibles en mezclas con combustibles fósiles, en algunos casos en forma pura, como la tecnología flex fuel<sup>20</sup> utilizada en más del 70 % de la flota brasileña.

Para cuantificar el potencial, cabe mencionar que las Américas exportan el 66 % del maíz y el 51 % del azúcar del mundo. Solo el potencial de los saldos exportables de estos dos productos permitiría producir 70 000 millones de litros de bioetanol, más una serie de subproductos de alto valor agregado, como DDGS, WDGS, aceite de maíz, bioelectricidad, bioabono, papel celulósico, etc.

El potencial de producción basado en otras materias primas, como las lignocelulósicas posicionan al continente con un potencial aún superior. La futura evolución de tecnologías y costos de producción será determinante para ampliar la participación de los biocombustibles utilizando materias primas alternativas. Algunas estimaciones<sup>21</sup> indican que el potencial de este tipo de materia prima podría significar 442 000 millones de litros de bioetanol a nivel global, con una participación significativa del continente americano.

Por su parte, el continente exporta el 72 % del aceite de soja del mundo y el 5 % del aceite de palma. También exporta el 96 % de la soja que puede ser industrializada para producir alrededor de 20 000 millones de litros de aceite de soja y cerca de 100 millones de toneladas de subproductos destinados a alimentación humana o animal (harinas proteicas, pellets, expeler, etc.). Estos recursos le dan al continente un potencial para producir 31 000 millones de litros de biodiésel<sup>22</sup>.

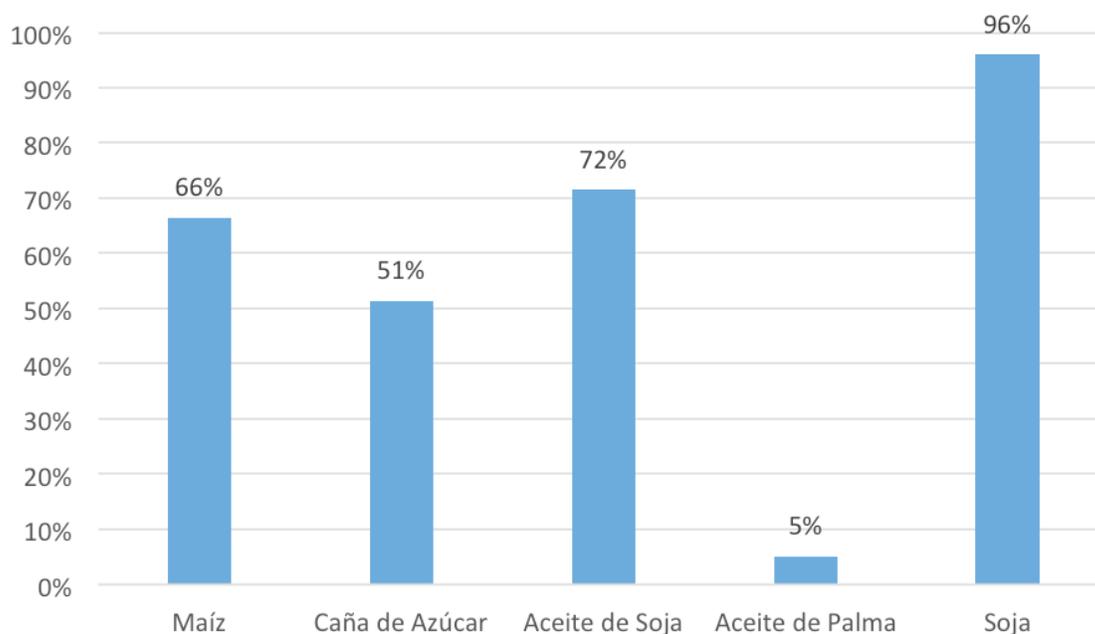
---

20. Este tipo de motores permite utilizar gasolina o bioetanol indistintamente.

21. Ver, por ejemplo, Mendes Souza et al. 2015.

22. A dicho potencial hay que agregarle aproximadamente 3 000 millones de litros potenciales derivados del aceite de colza, fuertemente concentrado en Canadá.

**Ilustración 23:** Participación de los excedentes exportables del continente americano sobre el total mundial (2016).



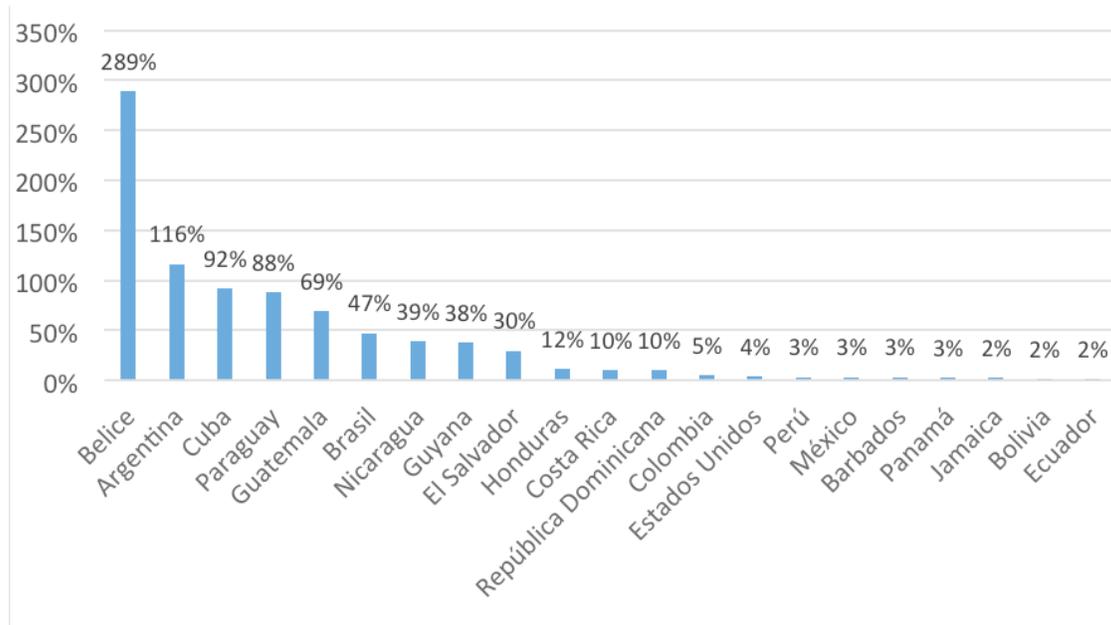
Fuente: ITC (Trade Map).

La cuantificación de los saldos exportables de las materias primas mencionadas para elaborar bioetanol (maíz y caña de azúcar) colocan a más de 15 países en una buena posición para reemplazar gasolina por este biocombustible. Belice, por ejemplo, podría reemplazar su bajo consumo de gasolinas e incluso generar fuertes saldos exportables. Argentina, exportador neto de azúcar y en el podio de los principales exportadores mundiales de maíz, que ya tiene una mezcla del bioetanol del 12 %, podría generar más de 10,5 millones de metros cúbicos de bioetanol, cantidad superior a la gasolina consumida.

Otros países como Cuba, Paraguay y Guatemala tienen un fuerte potencial para producir biocombustibles en relación con los combustibles fósiles que consumen. Por su parte, Brasil, primer productor y exportador mundial de azúcar y segundo productor de maíz, que ya utiliza un 44 % de bioetanol en el total de gasolinas consumidas, podría industrializar sus saldos exportables de maíz y azúcar para incorporar 47 puntos adicionales de este biocombustible.

Como se observa en el gráfico siguiente, la disponibilidad de recursos para producir bioetanol tiene altas potencialidades en varios países de Centroamérica y Suramérica. Asimismo, Estados Unidos, país que consume el 72 % de toda la gasolina del continente, podría sumar su participación de bioetanol en 4 puntos, partiendo de un uso actual del 10 %. Dicho 4 % adicional significa, en términos volumétricos, aproximadamente el equivalente al 40 % de las gasolinas que consume México actualmente, cuarto país de mayor consumo detrás de Estados Unidos, Canadá y Brasil.

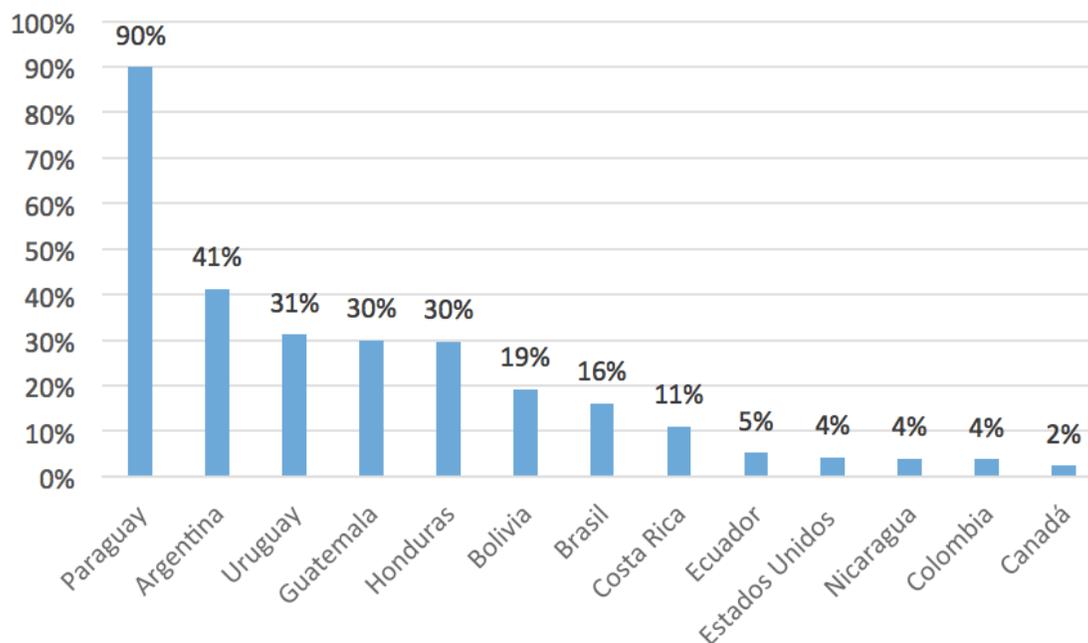
**Ilustración 24:** Potencialidad de producción de bioetanol con base en los saldos exportables de maíz y caña de azúcar (como porcentaje de la gasolina consumida internamente).



Fuente: Elaborada con base en datos de IEA e ITC (Trade Map).

Por su parte, el potencial de soja y palma para producir biocombustible se encuentra concentrado en más de una decena de países. Paraguay, podría llegar a reemplazar el 90 % de su consumo de diésel fósil por biodiésel si industrializara toda la soja que exporta. Para ello, necesita superar su sesgo primario e industrializar el poroto de soja para tener a disposición aceite para producir biodiésel. Argentina, por su parte, cuenta con uno de los clusters de crushing de soja más competitivos del mundo, encabezando el ranking mundial de exportación de aceite de soja. Adicionalmente, exporta soja sin procesar que también podría industrializar. Este país, que ya tiene una mezcla de biodiésel del 10 %, podría agregar 41 puntos más de este biocombustible. Uruguay, por su parte, exporta más de 2 millones de toneladas de soja, pero con una escasa industrialización. Para aumentar el uso de biodiésel, podría avanzar en el procesamiento de esta. Dentro de los países con potencialidades aparecen varios con disponibilidad de saldos exportables de aceite de palma: Colombia (principal productor continental), Honduras, Guatemala, Costa Rica y Ecuador, entre otros. A su vez, Brasil y Estados Unidos tienen fuertes saldos exportables de soja y aceite de soja.

**Ilustración 25:** Potencialidad de la producción de biodiésel con base en los saldos exportables de soja y aceite de palma y soja (como porcentaje del diésel consumido internamente).



Fuente: Elaborada con base en datos de IEA e ITC (Trade Map).

Con base en los saldos exportables de las materias primas descritas, el continente americano tiene el potencial de proporcionar el 43 % de la posible nueva oferta mundial de biodiésel y el 66 % de la de bioetanol.

### 3. Estrategias para el desarrollo de los biocombustibles y diseño de marcos normativos

En este capítulo se describen brevemente experiencias normativas que han contribuido a desarrollar el negocio de los biocombustibles en países y regiones seleccionados. Posteriormente, se brinda un panorama general sobre la situación mundial de la cantidad de países que cuentan con mandatos de uso de biocombustibles. Por último, se diagraman los diferentes esquemas que pueden utilizarse como estrategia para desarrollar la producción y uso de biocombustibles con diferentes tipos de marcos normativos.

#### 3.1 Comparación de algunas experiencias

El desarrollo de los biocombustibles en el mundo se ha llevado a cabo bajo dos modalidades:

- Mercados de mandato<sup>24</sup>
- Mercados sin mandato

En el primer caso, para alcanzar los objetivos porcentuales de mezclas o de volúmenes absolutos establecidos, cada país ha hecho uso de diferentes estrategias. Sin embargo, el meollo de la cuestión se basa en que cada país asegure la venta de biocombustibles con precios que garanticen la operatoria del sector, o que la autoridad de aplicación fiscalice el uso mandatorio de los biocombustibles establecidos. De esta manera, se presentan los dos casos de referencia, uno regulado al extremo (precio y cantidad) y otro con menor regulación (donde el precio lo fija el mercado).

En el caso de los mercados sin mandatos, se dan dos situaciones diferentes. En un primer caso, hay países que han promocionado el uso de los biocombustibles o que tienen mandatos obligatorios, pero en que también existe un segmento libre: es el típico caso brasileño con el bioetanol, donde hay un mercado de mandato para las gasolinas y, a la vez, un segmento donde el alcohol hidratado compite directamente contra su sustituto. También hay casos de mercados sin mandatos, pero con beneficios especiales para el uso de biocombustibles, los cuales van desde impuestos diferenciales y bonos por descarbonización. Un ejemplo, fue el uso del E85 en Suecia, el cual estuvo exento de impuestos hasta 2016. La segunda situación de los mercados sin mandatos se da en países donde los biocombustibles no han sido promocionados, no poseen régimen de promoción y el desarrollo de la industria y venta de los productos se da en tanto y en cuanto sean competitivos vía precios respecto a los combustibles fósiles. Los principales casos de este tipo de mercados se dan con el biodiésel en África, donde en ocasiones el inferior precio del biodiésel frente a su sustituto fósil permitió su uso libre.

---

24. Mandato se refiere a la obligación de mezclar biocombustibles con fósiles.

A continuación, se describe esquemáticamente el desarrollo de los biocombustibles en la Unión Europea, Estados Unidos y Brasil.

### 3.1.1 Unión Europea (UE)

La política de la UE se basó en la Directiva Comunitaria N° 2003/30/CE, que permitía a los estados miembros fijar los objetivos nacionales en cuanto a la proporción mínima de biocombustibles a utilizar, pero tomando como un valor de referencia indicativo del 2 % a partir de diciembre de 2005 y del 5,75 % a partir de 2010, aplicable al segmento de transporte. En 2015 la legislación viró a un 7 % como objetivo al 2020 para biocombustibles de primera generación, objetivo en constante revisión.

Además, se estableció un subsidio de € 45 por hectárea a los cultivos energéticos (por ejemplo, colza para biodiésel o cereales para bioetanol), con una superficie máxima de 1 500 000 hectáreas, por el efecto de reemplazar un combustible fósil por uno renovable de base agrícola. El subsidio estaba atado a la existencia de un contrato de compra entre el agricultor y el sector transformador.

La UE avanzó en torno a un mercado con referencia de cortes y con precios que tomaban como referencia a Rotterdam, donde los precios se determinan entre compradores y vendedores. De este modo, los productores de la UE deben competir contra la paridad de importación del biodiésel (al ser importadores netos de dicho producto).

Bajo este esquema, los precios de referencia influidos por los mercados externos han sacado de competencia a muchos productores europeos, operando la industria con una capacidad del 40 %, dada la pequeña escala de las plantas y las desventajas frente a otros competidores como Argentina e Indonesia.

Recientemente, la segunda Renewable Energy Directive (REN II) confirmó el tope de biocombustibles convencionales en 7 % al 2030 y estableció un objetivo de 3,5 % de biocombustibles avanzados para el mismo año. También estableció un requisito de mandato mínimo para el transporte del 0,5 % en el uso de biocombustibles avanzados para el 2020. Los datos indican que el porcentaje de mezcla de biodiésel durante 2018 llegó al 5,8 % en la eurozona, y 3,6 % en el caso del bioetanol.

Finalmente, las recientes directivas de calidad (FQD), establecieron un techo del 10 % en el caso de que el etanol se utilice como oxigenante y límites al biodiésel de palma y soja.

### 3.1.2 Estados Unidos

La Environmental Protection Agency (EPA) tiene la facultad de establecer cuotas anuales de biocombustibles a incorporarse en los combustibles fósiles en mezclas mandatorias. En el caso del biodiésel, en octubre de 2004, se estableció una ley con importantes incentivos federales para los productores, con la posibilidad de computar un crédito fiscal de USD 1 por galón contra el impuesto federal a las ventas de combustibles, siempre y cuando mediara una mezcla con diésel.

Esta ventaja impositiva incentivó a los mezcladores a pagar precios mayores por el biodiésel y a cumplir con las cuotas de la EPA.

A ello se le suma que la EPA instituyó los RIN (Renewable Identification Number), un certificado comercializable, con un número de identificación para energía renovable, que se materializa en el otorgamiento de un número de serie asignable a un lote de biocombustible. Los productores de biodiésel registrados ante la EPA llegaron a recibir 1,5 RIN por cada tonelada de biodiésel producida, destinada a cumplir mandatos de corte. Esos RIN se comercializan en mercados secundarios, lo que contribuye a mejorar la rentabilidad de las empresas. El 20 de diciembre de 2019, el Senado aprobó retroactivamente y extendió hasta el año 2022 el biodiesel tax credit (BTC), un incentivo equivalente a USD 1 por galón aplicable para el biodiésel que se consume en el país.

De esta manera, se observa que la estrategia de Estados Unidos se basó en el establecimiento de cuotas de biodiésel, en beneficios fiscales y en una bonificación extra basada en los RIN.

Bajo dicha reglamentación, la industria de dicho país ha construido 100 plantas productoras con una capacidad instalada de 7,7 millones de toneladas/año.

En cuanto al bioetanol, cabe destacar que a fines de los años noventa tomó impulso la incorporación de los vehículos flex en el país. La flota actual de vehículos flex estimada está en el orden de los 18 millones (menos del 10 % de la flota total de vehículos). Cabe destacar que, en Estados Unidos, los automóviles flex fuel tienen una calibración y funcionamiento diferente de los de Brasil. De esta manera, los vehículos admiten un blending de gasolina con alcohol anhidro de hasta 85 % (E85). Adicionalmente, hay surtidores con menores cortes para automóviles no flex. Los cortes de etanol en gasolina no son homogéneos, debido a que la independencia de los estados les otorga potestad para fijar cortes alternativos. Una mezcla muy utilizada suele ser el E10<sup>25</sup>, pero el estado de Minnesota se encuentra impulsando un E20, como caso más resonante. Menos del 2 % de las estaciones de servicio expenden combustible E85. Se destaca el uso de surtidores flex, los cuales permiten configurar la mezcla de gasolina-bioetanol en un rango variable desde 0 % hasta 85 %.

### 3.1.3 Brasil

La experiencia brasileña se basa en la fijación creciente de mezcla de biodiésel con gasoil (con el aumento reciente en marzo de 2018 establecido en 10 %). El esquema de determinación de precios es fijado por licitaciones de dos tipos: en la primera se subastan cuotas solo para las empresas que llevan a cabo el “Sello Combustible Social”. Este sello lo obtienen los productores que adquieren su materia prima de determinados agricultores familiares. En la segunda subasta pueden ingresar todos los productores habilitados.

La Agencia Nacional de Petróleo, Gas Natural y Biocombustibles (ANP) fija un precio máximo de referencia ex ante a las licitaciones, cuyos cupos totales se cubren en varias rondas donde los oferentes pueden reajustar de manera competitiva sus precios.

25. Recientemente la EPA homologó el uso de E15.

Brasil ha desarrollado una industria con más de 8 millones de metros cúbicos anuales de capacidad. Lo innovador de este sistema consiste en abrir rondas de licitaciones y en una licitación inicial diferencial para aquellos proyectos que cumplan las metas de promoción de la agricultura familiar respecto a aquellos que no lo hagan.

En cuanto al bioetanol, Brasil produce alcohol desde 1929 y en 1931 comenzó a agregarlo, en su forma anhidra, a la gasolina importada, por determinación del gobierno federal.

Luego de muchos años de marchas y contramarchas, hoy el sector brasileño de la producción de bioetanol es un agente de fundamental importancia en el abastecimiento de combustibles líquidos. Actualmente en Brasil existen más de 350 plantas productoras de bioetanol certificadas por la ANP para operar en el país. A ello se le agregan alrededor de 200 empresas encargadas de la distribución del bioetanol entre el ingenio y las terminales para luego ser llevado a las estaciones de servicio. Durante el 2018, el consumo de bioetanol en Brasil casi alcanzó los 28 millones de m<sup>3</sup>.

El esquema brasileño es el más avanzado del mundo en cuanto a la participación de alcohol en la matriz de combustibles líquidos. A grandes rasgos el etanol puede utilizarse como combustible, a pesar de su menor poder calorífico<sup>26</sup>, básicamente de dos maneras: en mezclas de gasolina con etanol anhidro, que en Brasil se denomina alcohol etílico anhidro combustible (AEAC), o como etanol puro, generalmente hidratado, también llamado alcohol etílico hidratado combustible (AEHC). A partir de la Resolución 19 de la ANP, publicada el 17 de abril de 2015, en su Reglamento Técnico ANP N0 2/20156, establece una nueva forma de comercializar el etanol, que es el denominado alcohol etílico hidratado combustible premium (EHCP). De acuerdo a la legislación, la gasolina comercializada de tipo “c” debe mezclarse con alcohol anhidro en cortes que pueden moverse en un rango de 18 % al 27,5 %, hoy fijada en 27 %. Los autos flex fuel pueden ser utilizados con gasolina tipo “c” o pueden utilizar alcohol hidratado en cualquier rango. De esta manera, un automóvil flex puede funcionar con alcohol hidratado, gasolina tipo “c” o cualquier combinación de ambas. Los autos no flex están calibrados para utilizar gasolina “c” solo con el blending descrito.

El alcohol combustible, que fue impulsado en sus inicios a través de regímenes promocionales, está tendiendo hoy a un esquema más libre y de competencia frente a su sustituto, la gasolina. De esta manera, los consumidores que tienen automóviles flex pueden optar por utilizar alcohol cuando este, descontado el menor poder calorífico, se encuentra más barato respecto de la gasolina. La “subvención regional al productor” es la única subvención directa pagada por el gobierno de Brasil. El programa fue creado hace décadas para proporcionar a los productores de caña de azúcar de las zonas desfavorecidas un esquema que les permita equilibrar sus costos de producción con las regiones más productivas en el centro-sur de Brasil. A lo largo de los años el Gobierno ha adaptado esta subvención como un programa a la realidad cambiante de la industria de la caña de azúcar. A partir de julio de 2015, esta subvención se ha dejado de pagar, debido a la crisis económica que atravesó el país.

Brasil ha logrado desarrollar a escala toda la cadena de valor, desde la producción, el transporte, y la distribución, como una gran red de comercialización. Se estima que al menos 40 000 estacio-

---

26. PCI de la gasolina: 43.500 kJ/l; PCI del etanol: 28.225 kJ/l.

nes de servicio tienen como mínimo un surtidor con alcohol hidratado. De esta manera, este país se encuentra perfectamente posicionado para utilizar el bioetanol a gran escala.

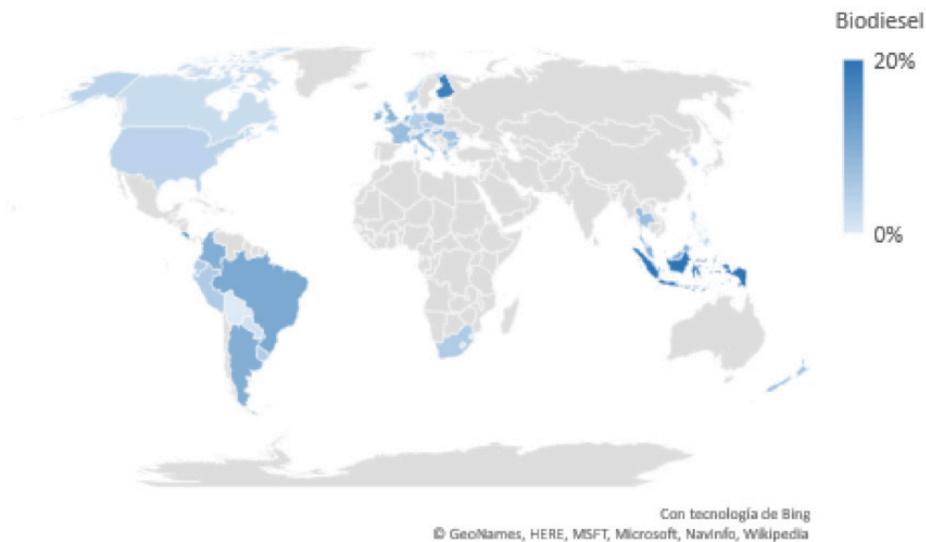
Como novedoso, en diciembre de 2017 se estableció como política nacional de biocombustibles el programa RenovaBio, que se basa en objetivos anuales de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> con obligaciones directas de cumplimiento para los distribuidores. Además, se incorporan certificados para los biocombustibles en virtud de la reducción de emisiones y créditos de descarbonización (CBIO). Es importante destacar que la obligación recae, novedosamente, en la figura del distribuidor, agente de gran relevancia en el mercado del bioetanol en Brasil.

### 3.1.4 Panorama global de los biocombustibles<sup>27</sup>

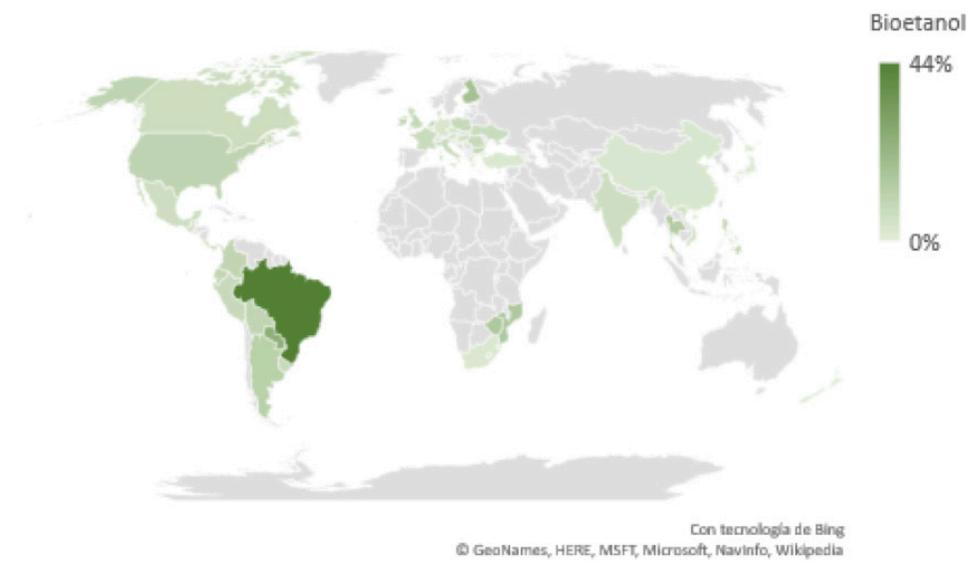
A finales de 2019, al menos 70 países del mundo contaban con mandato de mezclas de biocombustibles. El continente americano cuenta con usos generalizados, especialmente en el Cono Sur y en el norte del continente. A los casos ya descritos, se destaca el de bioetanol en China, donde la producción se está expandiendo rápidamente con mezclas obligatorias de E10 en quince regiones del país. El mandato de uso de 10 % que iba a generalizarse para todo el país en 2020 fue recientemente postergado por limitaciones en la disponibilidad de producto.

El siguiente mapa exhibe la difusión de los mandatos de biocombustibles en los diferentes países del mundo.

**Ilustración 26:** Mandatos nacionales y utilización promedio de biocombustibles por país (2019).



27. Se agradece la colaboración de la Lic. Susana Meoño Piedra en la tarea estadística del presente panorama global.



Fuente: Elaborada con base en USDA 2019, REN 21 y legislaciones nacionales.

### 3.2 Diseño de marcos normativos

Como se destacó previamente, el desarrollo de los biocombustibles en el mundo se ha llevado a cabo bajo dos modalidades:

- Mercados de mandato
- Mercados sin mandato

En términos generales, los marcos regulatorios de biocombustibles han girado en torno a cuatro grandes ejes:

- Las mezclas/cortes obligatorios que pueden expresarse en porcentajes o con objetivos volumétricos.
- Los mecanismos para determinar los precios de los biocombustibles.
- El régimen tributario que grava a los biocombustibles líquidos en comparación con los fósiles.
- El marco impositivo particular sobre las actividades de inversión y producción de biocombustibles.

Los aspectos medioambientales suelen estar vinculados a esquemas tributarios o impositivos diferenciales o a mecanismos de certificación con ventajas asociadas.

En virtud de la situación particular de los biocombustibles en cada país, se distinguen tres tipos de marcos normativos.

1. Marcos normativos promocionales.
2. Marcos normativos de transición.
3. Marcos normativos libres o desregulados.

A continuación, se describen en forma general las principales características de estos tres tipos de regímenes en virtud de los cuatro grandes ejes mencionados.

### 3.2.1 Marcos normativos promocionales

Los marcos normativos promocionales parten del supuesto de la existencia de una “industria infante” que no está preparada para desarrollarse sin el impulso de políticas públicas. Bosquejos de la industrialización mediante esquemas de este tipo se encuentran en uno de los padres fundadores de Estados Unidos, Alexander Hamilton, y formalizados por el economista Friedrich List (1841). La idea fundamental detrás de estos mecanismos es que, luego de un tiempo de promoción, la industria beneficiaria se encontrará en condiciones de desarrollar su actividad sin la protección del Estado.

En cuanto a los principales temas a normar, los marcos promocionales tienden a establecer cortes obligatorios de biocombustibles<sup>28</sup>, de manera de garantizar su uso. Algunas legislaciones establecen que dichos cortes deben ser abastecidos por la industria local, con el fin de asegurar un desarrollo industrial propio.

En cuanto a los precios de los biocombustibles, en muchos casos se encuentran regulados por el Estado mediante fórmulas polinómicas que tienden a cubrir todos los costos de producción, además de garantizar una rentabilidad considerada razonable. Existen algunos mecanismos promocionales más flexibles en cuanto a la determinación de precios. Ellos tienen que ver con el establecimiento de licitaciones segmentadas, donde se asegura la participación de determinado sector<sup>29</sup> que se quiere incentivar.

Generalmente, en materia tributaria, el biocombustible suele estar total o parcialmente exento de los impuestos que tributan los combustibles líquidos. En cuanto a la actividad de producción e inversión, los regímenes promocionales establecen, con frecuencia, un tratamiento impositivo diferencial, con estímulos a la inversión y la producción.

### 3.2.2 Marcos normativos de transición

Este tipo de esquemas normativos están asociados a la existencia de una industria en una etapa media de desarrollo, generalmente luego de un régimen promocional previo, pero que aún no se encuentra en igualdad de condiciones para competir con una industria madura como la petrolera. En tal sentido, el diseño normativo suele estar en un escalón intermedio entre los mecanismos de competencia pura y los regímenes promocionales.

28. Las mezclas o cortes obligatorios pueden fijarse como porcentajes o en valores absolutos.

29. El biodiésel con certificado de “sello social” en Brasil es un buen ejemplo.

En cuanto a los cortes de biocombustibles, se reconocen diversos mecanismos: a) existencias de normativas duales, como mezclas mandatorias hasta un nivel y un segmento libre a partir de determinada mezcla; b) cortes obligatorios móviles, con bandas predefinidas; y c) mezclas obligatorias atadas a requisitos vinculados a los precios.

Los precios de los biocombustibles suelen dejar los esquemas rígidos de fijaciones estatales para virar a esquemas más flexibles vinculados a licitaciones. Dichas licitaciones pueden tener distintos niveles de complejidad, desde segmentaciones hasta precios topes y límites a la participación de mercado.

En materia impositiva, los biocombustibles suelen no tributar la totalidad de los impuestos sobre los cuales están gravados los combustibles líquidos. La exención puede ser total o parcial; en este último caso, se trata de garantizar que se vean reflejadas las externalidades ambientales positivas de los biocombustibles. Para ello hay diferentes métodos, que van desde la utilización del impuesto al CO<sub>2</sub>, como mecanismo de reconocimiento de las ventajas ambientales, hasta mecanismos indirectos como el programa RENOVABIO en Brasil. Este se basa en objetivos anuales de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> con obligaciones directas de cumplimiento para los distribuidores a través de certificaciones de descarbonización. Este mecanismo y otros, como el RIN en Estados Unidos, son herramientas híbridas entre los precios y cuestiones que no son estrictamente impositivas. En cuanto a la actividad de producción e inversión, los regímenes de transición tienen menos estímulos tributarios que los esquemas promocionales.

### 3.2.3 Marcos normativos libres o desregulados

Este tipo de esquemas regulatorios asumen un grado de madurez de la industria lo suficientemente elevado como para desarrollar su actividad y competir sin la necesidad de los estímulos del Estado. Habitualmente, los mercados no son mandatorios, pero las normas de calidad habilitan un amplio rango para su consumo y compiten directamente con sus sustitutos fósiles. El caso del bioetanol hidratado en Brasil, producto que compite vía precios frente a la gasolina, es un buen ejemplo.

Los precios se determinan mediante mecanismos de mercado, arbitrando entre los costos de oportunidad de utilizar las materias primas para otros usos en simultáneo que deben competir contra sus sustitutos fósiles.

En materia impositiva, suele haber un reconocimiento de las externalidades positivas ambientales que plantean los biocombustibles. Los mecanismos descritos anteriormente (RENOVABIO, impuestos las emisiones de CO<sub>2</sub>, etc.) también pueden enmarcarse en mercados libres que tienden a corregir imperfecciones o fallas de mercado. Al margen de ello, no suele haber estímulos específicos dirigidos a la inversión, como si ocurre en los esquemas promocionales.

A modo de síntesis, se resumen los cuatro ejes principales sobre los cuales se suele legislar en materia de biocombustibles líquidos y los tres esquemas habituales de organizar las políticas:

**Tabla 1: Esquema de aplicación normativa en biocombustibles líquidos.**

Tipo de esquema	Mezclas	Precios	Régimen impositivo sobre (bio)combustibles	Esquema tributario General
Promoción	Obligatorias	Regulados (Garantizar rentabilidad)	Exentos	Ventajas Tributarias
Transición	Obligatorias/Rangos	Licitaciones segmentadas	Exentos/Parcialmente exentas	Marco general/Leves ventajas
Desregulación	Rangos/Biocombustibles puros	Licitaciones puras/libre fijación	Igualdad vs fósiles valorizando externalidades (Impuesto al CO2)	Marco General

*Fuente: Elaboración propia.*

## 4. Consideraciones finales

La posibilidad de aumentar la participación de los biocombustibles en la matriz de combustibles líquidos utilizando las mejores prácticas medioambientales, de forma tal de maximizar la reducción de GEI en el ciclo de vida del producto y contribuir con el desarrollo económico y productivo de los países, es una opción totalmente factible y deseable para varios países de las Américas.

El impulso a los biocombustibles líquidos tiene sus fundamentos en la diversificación de la matriz energética, el impacto favorable en el ambiente, la salud de la población y el empleo, la agregación de valor, la diversificación productiva, el impacto positivo de una demanda estable de materias primas en los productores rurales, la sustitución fósil y la seguridad energética. En este sentido, cabe destacar que, a nivel agregado, el continente americano consume 30 millones de barriles de petróleo por día. Su producción no le permite autoabastecerse, por lo que importa el 10 % del petróleo que consume. El uso de biocombustibles le ha permitido reducir las importaciones de crudo en 30 %. Para producir dichos combustibles de origen biológico, se utiliza biomasa vegetal, insumo superavitario para el continente. En este sentido, la disponibilidad heterogénea de recursos biológicos y fósiles hace recomendable evaluar distintas estrategias de políticas públicas en los países del continente.

En tal sentido, existe el potencial de producir biocombustibles en una veintena de países de América, considerando solamente la disponibilidad de los saldos exportables de las principales materias primas utilizadas actualmente, luego de satisfacer las demandas internas.

El potencial de producción basado en otras materias primas, como las lignocelulósicas, posicionan al continente con un potencial aún superior. La futura evolución de tecnologías y costos de producción serán determinantes para ampliar la participación de los biocombustibles utilizando materias primas alternativas.

La generación de empleos y el desarrollo de los territorios rurales son motivaciones destacables, considerando que en 2018 las bioenergías generaron 3,18 millones de puestos de trabajo en el mundo, lo que equivale al 30 % del total del empleo en las energías renovables. En particular, los biocombustibles líquidos han empleado a 2,063 millones de personas, con un crecimiento interanual de 6 % y representando el 68 % de los empleos generados por las bioenergías.

La demanda más estable de materias primas y su posible impacto positivo en los precios pueden favorecer a un núcleo postergado en ALC: el de la agricultura familiar, donde trabajan 60 millones de personas. La población rural concentra un porcentaje de pobreza del 46 % en ALC, muy por encima de las medias nacionales; este grupo poblacional puede verse favorecido indirectamente en el caso de que el uso de los biocombustibles redundara en mayores precios de las materias primas agrícolas y una demanda más sostenida de ellas.

Adicionalmente, la industrialización de la biomasa con destino a la producción de biocombustibles permite agregar valor agregado en origen, realizar una actividad de alto valor agregado ex-

portable generadora de divisas y diversificar la actividad productiva. Dentro de la diversificación productiva, se destaca que la producción de biocombustibles se desarrolla dentro de un entramado productivo denominado “industria multiproducto”. Ello se refiere a que la producción de biocombustibles da origen a una canasta de productos asociados, en muchos casos de significativo valor, como el caso de la glicerina para la producción de biodiésel, así como de los granos destilados y la producción de bioenergía secundaria en los casos de bioetanol de maíz y caña, respectivamente.

Es altamente recomendable potenciar el aprovechamiento de los subproductos obtenidos en el proceso productivo de los biocombustibles. La integración de estos con cadenas de valor agropecuarias y no agropecuarias permite potenciar el negocio y generar eslabonamientos que generan empleos de calidad, valor agregado y, en muchos casos, posibilidades de exportación de productos de alto valor.

La estrategia de industrializar el agro para producir y proveer energía en forma sostenible se encuentra en línea con los ODS, así como con los objetivos estratégicos del IICA mencionados en la presentación y otras secciones de este documento.

## 5. Bibliografía

ARPEL (Asociación Regional de Empresas de Petróleo y Gas Natural en Latinoamérica y el Caribe, Uruguay); IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Costa Rica). 2009. Manual de biocombustibles. Montevideo, Uruguay.

Banco Mundial. 2019. Desempleo, total (% de la población activa total) (estimación modelado OIT) (en línea). Washington, D. C., Estados Unidos de América. Consultado 10 ene. 2020. Disponible en <https://datos.bancomundial.org/indicador/SL.UEM.TOTL.ZS>.

Baumol, W; Willing, R; Panzar, J. 1988. Contestable markets and the theory of industrial structure. San Diego, Estados Unidos de América, Harcourt, Brace and Jovanovich.

BNDES (Banco Nacional de Desarrollo Económico y Social, Brasil). 2008. Bioetanol de caña de azúcar: Energía para el desarrollo sostenible. Río de Janeiro, Brasil, BNDES y CGEE.

British Petroleum. 2019. Statistical Review of World Energy 2018. Londres, Reino Unido.

CARBIO (Cámara Argentina de Biocombustibles). Sitio web (en línea). Buenos Aires, Argentina. Consultado 12 ene. 2020. Disponible en [carbio.com.ar](http://carbio.com.ar).

Carlton, D; Perloff, J. 1994. Modern Industrial Organization. Nueva York, Estados Unidos de América, HarperCollins Publishers.

Chidiak, M; Panichelli, L; Rabinovich, G; Buyatti, A; Filipello, C; Rozenwurcel, G; Fuchs, M; Rozemberg, R. 2018. Estudio piloto indicadores GBEP de sustentabilidad de la bioenergía en Argentina. San Martín, Buenos Aires, Universidad Nacional de San Martín; UCAR; BID; Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca.

EPA (United States Environmental Protection Agency). 1999. Emission Facts, EPA 420-F-99-040, November 1999. Ann Arbor, Michigan, Estados Unidos de América, Office of Mobile Sources.

F. O. Licht. 2019. World Ethanol and Biofuels Report 17(23). Londres, Reino Unido.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia). Sitio web (en línea). Roma, Italia. Consultado 23 ene. 2020. Disponible en <http://www.fao.org/food-loss-and-food-waste/es/>.

FEDEPALMA (Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite, Colombia). 2016. Balance económico del sector palmero colombiano en 2015. Bogotá, Colombia.

Gauch, M. 2013. Ciclo de vida del biodiésel en Colombia. Bogotá, Colombia, FEDEPALMA.

Georgescu-Roegen, N. 1975. Energy and economic myths. Southern Economic Journal 41(3):347-81.

Hilbert, J; Galbusera, S. 2011. Análisis de Emisiones Producción de Biodiésel. s. l., AG-Energy, INTA.

Hilbert, JA; Carballo, S; Manosalva, J; Micard, N; Vitale, JP. 2016. Análisis de emisiones: Producción de Bioetanol y Coproductos. s. l., ACABIO Cooperativa Limitada, INTA.

IEA (International Energy Agency, Francia). 2018. Sustainable Landscape Management for Bioenergy and the Bioeconomy. París, Francia.

IEA (International Energy Agency, Francia). 2019. World Energy Balances 2019 (en línea). París, Francia. Consultado 21 ene. 2020. Disponible en <https://webstore.iea.org/world-energy-balances-2019>.

IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Costa Rica). 2018. Plan de Mediano Plazo 2018-2022. San José, Costa Rica.

IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Costa Rica). 2019. Programa de Bioeconomía y Desarrollo Productivo: Abordajes conceptuales y metodológicos para la cooperación técnica. San José, Costa Rica.

- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Costa Rica). 2020. La energía y los vasos comunicantes con la agricultura: los biocombustibles. Torroba, A. San José, Costa Rica.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2011. Summary for Policymakers. In IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Cambridge, Reino Unido, Cambridge University Press.
- IRENA (International Renewable Energy Agency, Emiratos Árabes Unidos). 2019. Renewable Energy and Jobs. Annual Review 2018. Abu Dabi, Emiratos Árabes Unidos.
- ITC (International Trade Centre, Suiza). Trade Map (en línea, base de datos). Ginebra, Suiza. Consultado 20 feb. 2020. Disponible en <https://www.trademap.org/>.
- List, F. 1841. The National System of Political Economy. Edición de 1909: Londres, Reino Unido, Longman, Green, and Co.
- Martinelli, LA; Garrett, R; Ferraz, S; Naylor, R. 2011. Sugar and ethanol production as a rural development strategy in Brazil: Evidence from the state of São Paulo. *Agricultural Systems* 104(5):419-428.
- Mendes Souza, G; Victoria, RL; Joly, CA; Verdade, LM (eds.). 2015. Bioenergy & Sustainability: bridging the gaps. São Paulo, Brasil, SCOPE.
- OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development, Francia). 2019. Agriculture Statistics: Agricultural support estimates. París, Francia.
- OIT (Organización Internacional del Trabajo, Suiza). 2019. Perspectivas Sociales y del Empleo en el Mundo: Tendencias 2019. Ginebra, Suiza.
- OLADE (Organización Latinoamericana de Energía, Ecuador). 2018. Panorama Energético de América Latina y el Caribe 2018. Quito, Ecuador.
- REN 21. 2019. Renewables 2019: Global Status Report. París, Francia.

- RFA (Renewable Fuels Association, Estados Unidos de América). 2019. 2019 Ethanol Industry Outlook. St. Louis, Missouri, Estados Unidos de América.
- Ronzon, T; Lusser, M; Klinkenberg, M (ed.); Landa, L; Sanchez Lopez, J (ed.); M'Barek, R; Hadjamu. G (ed.); Belward, A (ed.); Camia, A (ed.); Giuntoli, J; Cristobal, J; Parisi, C; Ferrari, E; Marelli, L; Torres de Matos, C; Gomez Barbero, M; Rodriguez Cerezo, E. 2017. Bioeconomy Report 2016. Bruselas, Bélgica, JRC.
- Sierra-Márquez, J; Sierra-Márquez, L; Olivero-Verbel, J. 2017. Potencial económico de la palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq). *Agronomía Mesoamericana* 28(2):523-534.
- Trigo, E; Regúnaga, M; Costa, R; Wierny, M; Coremerg, A. 2015. La bioeconomía argentina: alcances, situación actual y oportunidades para el desarrollo. Buenos Aires, Argentina, Bolsa de Cereales de Buenos Aires.
- UFOP (Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e. V., Alemania). 2019. Report on Global Market Supply 2017/2018: European and world demand for biomass for the purpose of biofuel production in relation to supply in the food and feedstuff markets. Berlín, Alemania.
- U.S. Energy Information Administration. 2019. Sitio web (en línea). Washington, D. C., Estados Unidos de América. Consultado 16 ago. 2019. Disponible en <https://www.eia.gov/>.
- US Grains Council. 2019. U.S. Ethanol Exports Are the Fastest Growing U.S. Agricultural Export (en línea). Washington, D. C., Estados Unidos de América. Consultado 14 nov. 2020. Disponible en [https://grains.org/success\\_story/u-s-ethanol-exports-are-the-fastest-growing-u-s-agricultural-export/](https://grains.org/success_story/u-s-ethanol-exports-are-the-fastest-growing-u-s-agricultural-export/).
- USDA (United States Department of Agriculture). 2018. Anual reports. Washington, D. C., Estados Unidos de América. Varios números.
- USDA (United States Department of Agriculture). 2019. Anual reports. Washington, D. C., Estados Unidos de América. Varios números.
- Van Dam, J. 2016. Subproductos de la palma de aceite como materias primas de biomasa. *Palmas* 37(II):149-156.





INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACIÓN PARA LA AGRICULTURA  
SEDE CENTRAL / Apdo. 55-2200 San José,  
Vázquez de Coronado, San Isidro 11101, Costa Rica  
Tel.: (+506) 2216-0222 / Fax: (+506) 2216-0233  
Dirección electrónica: [iicahq@iica.int](mailto:iicahq@iica.int) / Sitio web: [www.iica.int](http://www.iica.int)