

Artículo de revisión

Cómo citar: K. Rey; G. Leguizamón; E. González; M. Becerra. "Análisis de brechas del sector de biocombustibles en Colombia", *Inventum*, vol. 16, no. 30, pp. 61-90. doi: 10.26620/uniminuto.inventum.16.30.2021.61-90

Editorial: Corporación Universitaria Minuto de Dios - UNIMINUTO.

ISSN: 1909-2520
eISSN: 2590-8219

Fecha de recibido: 10 de enero de 2021
Fecha de aprobado: 10 de febrero de 2021
Fecha de publicación: 10 de marzo de 2021

Conflicto de intereses: los autores han declarado que no existen intereses en competencia.

Análisis de brechas del sector de biocombustibles en Colombia

Gap analysis of the biofuels sector in Colombia

Análise de lacuna do setor de biocombustíveis na Colômbia

Resumen

Dentro del marco del desarrollo sostenible, el planteamiento de diecisiete objetivos por parte de la Asamblea General de las Naciones Unidas ha establecido lineamientos de desarrollo a nivel mundial que, frente a las necesidades de cambio guiadas por la implementación de nuevas alternativas de mejora y uso de recursos sostenibles, ponen de manifiesto la necesidad de analizar diferentes sectores económicos del país. Con base en los sectores de mayor impacto ambiental la agroindustria tiene el desafío de reemplazar las energías fósiles, debido a la constante problemática de agotamiento y desabastecimiento de recursos naturales no renovables como el petróleo. Por ende, este artículo presenta una amplia revisión de literatura y enuncia los principales aportes en el sector de los biocombustibles. El objetivo es determinar la viabilidad y análisis de las brechas existentes en el sector de biocombustibles en Colombia, con respecto a la industria de seis países referentes basados en el impacto ambiental, desarrollo económico e incidencia en la sostenibilidad orientado a la migración y uso de energías sostenibles como el bioetanol y el biodiésel. El estudio se desarrolló bajo un enfoque cualitativo de los posibles escenarios ambientales internos y externos que intervienen en el sector agroindustrial, a través de cuatro pasos metodológicos que incluyen: a) el análisis de biocombustibles en el mundo y en Colombia; b) un comparativo del análisis de favorabilidad con respecto a las brechas identificadas; c) la aplicación de la matriz de debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas (DOFA) con la consecuente identificación de contrariedades que afectan la implementación de esta medida bajo contextos reales; y d) el resultado de una propuesta de estrategias de mejora de cada una de las iteraciones que se correlacionan en la matriz, que es confrontada con la aplicación de la herramienta de causas y efectos (Vester). La finalidad de lo anterior es determinar la problemática que dentro del desarrollo del estudio tiene mayor impacto en este campo, estableciendo cuatro puntos de comparación que son: materia prima, uso de suelos, agroquímicos y, finalmente, condiciones ambientales de biocombustibles en el país a gran escala.

Palabras clave: biocombustibles, biodiésel, cadena productiva, Colombia, etanol, matriz DOFA, matriz Vester.

Abstract

Within the framework of sustainable development, the proposal of seventeen objectives by the United Nations General Assembly has established development guidelines at the global level, which, in the face of the needs of change guided by the implementation of new alternatives for improvement and use of sustainable resources, highlights the need to analyze different economic sectors of the country. Based on the sectors with the greatest environmental impact, agroindustry faces the challenge of replacing fossil fuels, due to the constant problem of depletion and shortage of non-

Karol Dayan Rey-Porras

Universidad Católica de Colombia. Correo electrónico: kdrey68@ucatolica.edu.co. <https://orcid.org/0000-0003-1893-6467>.

Ginna Marcela Leguizamón-Nonsoque

Universidad Católica de Colombia. Correo electrónico: gmleguizamon34@ucatolica.edu.co. <https://orcid.org/0000-0002-4748-8360>.

Elsa Cristina González-LaRotta

Universidad Católica de Colombia. Correo electrónico: ecgonzalez@ucatolica.edu.co. <https://orcid.org/0000-0002-7054-5386>.

Mauricio Becerra-Fernández

Universidad Católica de Colombia. Correo electrónico: mbecerra@ucatolica.edu.co. <https://orcid.org/0000-0003-1060-2198>.

* Programa de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería. Grupo de Investigación en Producción (GIP), semilleros de Investigación en Modelos de Logística y Producción (ModeLoP) y semillero de Investigación en Logística Sostenible (SILOS), Universidad Católica de Colombia.



renewable natural resources such as oil. This paper presents a literature review and lists the main contributions in the biofuels sector. The objective is to determine the viability and analysis of the existing gaps in the biofuels sector in Colombia, with respect to the industry of six reference countries based on environmental impact, economic development and incidence on sustainability, oriented towards migration and use of sustainable energies such as bioethanol and biodiesel. The study has a qualitative approach to the possible internal and external environmental scenarios, which intervene in the agro-industrial sector, through four methodological steps that include: a) the analysis of biofuels in the world and in Colombia, b) a comparative the analysis of favorability with respect to the gaps identified, c) the application of the matrix of weaknesses, opportunities, strengths and threats (SWOT), in addition, the identification of gaps that affect the implementation of this measure under real contexts, and d) the result a proposal of improvement strategies of each of the iterations in the matrix, which is compared with the application of the causes and effects tool (Vester). The purpose of the above is to determine the problem that within the development of the study has the greatest impact in this field; establishing four points of comparison that are: raw material, land use, agrochemicals and, finally, environmental conditions of biofuels in the country on a large scale.

Keywords: biofuels, biodiesel, Colombia, ethanol, productive chain, SWOT matrix, Vester matrix.

Resumo

No âmbito do desenvolvimento sustentável, a abordagem de dezessete objetivos pela Assembleia Geral das Nações Unidas estabeleceu diretrizes de desenvolvimento em nível global, que, diante das necessidades de mudança pautadas na implementação de novas alternativas de melhoria e aproveitamento de recursos sustentáveis recursos, destacam a necessidade de analisar diferentes setores econômicos do país. Com base nos setores de maior impacto ambiental, a agroindústria enfrenta o desafio de substituir os combustíveis fósseis, devido ao constante problema de esgotamento e escassez de recursos naturais não renováveis, como o petróleo. Por isso, este artigo apresenta uma extensa revisão da literatura e relaciona as principais contribuições do setor de biocombustíveis. O objetivo é determinar a viabilidade e análise das lacunas existentes no setor de biocombustíveis na Colômbia, no que diz respeito à indústria de seis países de referência com base no impacto ambiental, no desenvolvimento econômico e incidência na sustentabilidade, orientada para a migração e uso de energias sustentáveis como o bioetanol e o biodiesel. O estudo foi desenvolvido sob uma abordagem qualitativa aos possíveis cenários ambientais internos e externos, que intervêm no setor agroindustrial, por meio de quatro etapas metodológicas que incluem: a) a análise dos biocombustíveis no mundo e na Colômbia; b) uma comparação a análise de favorabilidade em relação à as lacunas identificadas; c) aplicação da matriz de fraquezas, oportunidades, forças e ameaças (SWOT) com a identificação de lacunas que afetam a implementação desta medida em contextos reais; e d) o resultado uma proposta de estratégias de melhoria de cada uma das iterações que se correlacionam na matriz, que é comparada com a aplicação da ferramenta de causas e efeitos (Vester). O objetivo do acima exposto é determinar os problemas que no desenvolvimento do estudo tem maior impacto neste campo; estabelecendo quatro pontos de comparação que são: matéria-prima, uso da terra, agroquímicos e, finalmente, as condições ambientais dos biocombustíveis no país em grande escala.

Palavras-chave: biocombustíveis, biodiesel, cadeia produtiva, Colômbia, etanol, matriz SWOT, matriz Vester.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el uso de biocombustibles como derivados de recursos biológicos renovables es universalmente reconocido como alternativa viable de los combustibles fósiles que alimentan motores de combustión interna [1]. En este sentido, el objetivo se ha enfocado en la creación e implementación de nuevas metodologías de trabajo que permitan reducir el impacto de los gases de efecto invernadero, razón por la cual, muchos países han tomado la iniciativa de apostar por las nuevas estrategias de diversificación de la producción de energía, haciendo uso de fuentes renovables. Una de ellas es la reducción de emisiones nocivas que contienen azufre y ácidos en las mezclas que son usadas especialmente en el sector del transporte.

En un concepto más amplio, abordar la problemática de agotamiento de combustibles fósiles y la viabilidad de incorporar biocombustibles como una alternativa de sostenibilidad, con respecto a las brechas de otros países, se fundamenta sobre hechos históricos como la crisis del petróleo que se presentó en 1973 en Brasil. Este fue uno de los primeros países que inició la promoción del uso de etanol como biocombustible. Su impacto se vio reflejado por la asignación de incentivos a las industrias que lo incorporaron a sus procesos, a tal punto que, a finales de la década de 1970 se instauraron políticas gubernamentales de carácter obligatorio para mezclar 20 % de etanol (E20) con gasolina convencional [2].

Hoy en día, en el sistema de transporte esta es una mezcla de uso regular llegando incluso a porcentajes de etanol del 25 %; no obstante, el plan de energía alternativa usado en Brasil causó inconformidad en otros sectores, influenciado por la escasez en las siembras de maíz y su afectación sobre el consumo humano [2]. A pesar de ello, cadenas de suministro brasileñas incursionaron en el sector de la caña de azúcar como materia prima alternativa, aumentando los índices de exportaciones a Estados Unidos, además, creando valor de transformación del etanol, puesto que se llegó a utilizar en las carreras de Indycar entre el 2009 y 2012 [3]. Actualmente, el etanol representa un 18 % del suministro total de energía, y dentro de este porcentaje el uso principal de caña de azúcar en la generación de etanol ocupa solo el 0,7 % del territorio brasileño y un índice de favorabilidad del 45 % de reemplazo de toda la gasolina convencional que se vende en el país [3].

Asimismo, tras fuertes carencias de recursos energéticos provenientes de la biomasa en Estados Unidos, el uso de etanol se incorporó como un aditivo a la gasolina para aumentar el octanaje; se observó que el motor diésel con biocarburente reduce ligeramente la potencia eficaz de frenado y las masas de sedimentos de hollín [1]. Esto

dio paso a la apertura de estudios investigativos para la identificación de componentes de combustión que pudieran ser eliminados de las mezclas.

De hecho, tras diferentes métodos de comparación realizados en biorrefinerías de países líderes del sector, se llegó a determinar que el biodiésel fue elegido para estudios teniendo en cuenta las características de sustitución y capacidad mínima de emisiones de gases a la atmósfera, dejando como principal contribución estudios sobre la capacidad de absorción de metanol, etanol y butanol que fueron adoptados por Canadá e India en modelos similares de parámetros de combustión [1].

En economías emergentes de impacto global, Colombia tiene una importante participación en la producción de alimentos, que a pesar de estar limitada por la falta de inversión en investigación y desarrollo (I+D) de nuevos complejos industriales multiproducto-biorrefinerías, cuenta con limitados sectores que han expuesto las ventajas de la posible interacción de las biorrefinerías en cultivos como la caña de azúcar y la palma de aceite; demostrando que puede tener la oportunidad de convertirse en un líder mundial en la producción de biocombustibles, en un sector que se mueve hacia el futuro de las energías limpias [4]. La necesidad de cambio se ve influenciada por los resultados indicados en los planes energéticos nacionales (PEN), estos mencionan que el uso de gasolina convencional en el sector transporte seguirá liderando el cambio con una proyección a 2030, y en términos energéticos: el diésel, la electricidad y el gas natural tendrán una participación mayor del 75 %, en detrimento del uso de otros energéticos como la leña y el carbón. Para el 2050 se pronostica que la demanda constituida por biocombustibles, electricidad y gas natural representen el 78 % de la participación. Es por esto que Colombia, dentro de los países aliados al cambio de sostenibilidad, tiene el objetivo de lograr una tasa de generación de biocombustibles del 12 % con un aumento proyectado al 15 % para 2023, e iniciar el proceso de transformación de combustibles [4].

En función de los argumentos expuestos anteriormente, el problema de investigación busca identificar los determinantes en las brechas del uso de biocombustibles en Colombia, con relación al uso alternativo de materias primas que reemplacen los combustibles fósiles. Los biocombustibles a nivel mundial se han considerado como la mejor alternativa de cambio frente al petróleo, lo que obedece a dos razones puntuales: primera, la disponibilidad de reservas de petróleo de manera limitada con un estimativo máximo de cien años; y segundo, el precio del crudo con tendencia a aumentar paulatinamente [5]. Bajo este escenario los objetivos de esta investigación se orientan a una revisión de literatura enfocada a evaluar el panorama de los biocombustibles a nivel internacional, con relación a la favorabilidad ambiental, económica

y sostenible de Colombia; asimismo, determinar las oportunidades de mejora a nivel nacional en función de la cadena productiva y los aportes desde la ingeniería en factores como uso de suelos, agroquímicos y demás requerimientos del sector agroindustrial. Finalmente, la consecuente identificación de ventajas que favorecen o, por el contrario, limitan la favorabilidad de uso de energías limpias en el contexto nacional.

Frente a este panorama se estima que la oferta de biocombustibles en Colombia aún no alcanza a satisfacer la demanda debido a la baja inversión y problemas en la cadena de suministro [6]. Por ejemplo, la diversificación de fuentes de energía primarias favorece a la seguridad energética al disminuir la dependencia de una sola fuente [5] y, es así como, la escasa de capacidad, los limitantes en materias primas y las dificultades de transporte de biocombustibles, hasta los centros de distribución, son parte de una dinámica que se requiere aclarar para entender los mecanismos de respuesta de biocombustibles en Colombia [6].

Para su desarrollo, esta investigación se realizó a nivel teórico con el fin de aportar comparativos entre los factores identificados en las brechas de biocombustibles, como instrumento de reflexión y confrontación de diferencias teóricas, con respecto a los líderes en etanol y diésel, y su correlación con el desarrollo sostenible e influencia medioambiental. A nivel práctico se realizan asociaciones de iteraciones y la consecuente asignación de estrategias que correlaciona las oportunidades, amenazas, debilidades y fortalezas en el sector agroindustrial de Colombia. A nivel metodológico se busca demostrar la importancia de aplicar herramientas de causa-efecto que son base teórica para las aplicaciones metodológicas en campo, que se puedan ejecutar a futuro.

Finalmente, este artículo en la sección 2 introduce al lector sobre la metodología empleada para la revisión de literatura. En la sección 3 presenta un análisis del estado de los biocombustibles en el mundo, tomando como referencia a Estados Unidos, Brasil, Indonesia, Alemania, China, Francia, Canadá y Argentina, pioneros en la generación de etanol y diésel de primera y segunda generación, con base en tres criterios de evaluación que incluye datos sobre la demanda, producción, precio y políticas nacionales. La sección 4 describe el sector agroindustrial en Colombia que tiene como referencia los aspectos que integran la planificación y operación de la cadena productiva de biocombustibles en Colombia, además, del ciclo vital de biocombustibles como un instrumento para evaluar los impactos ambientales generados sobre recursos hídricos, de suelos, de biodiversidad y seguridad alimentaria. Igualmente, tiene relación con la cadena de suministros y normatividad que se aplica a nivel regional, como un medio capaz de mitigar el riesgo provocado por la variación de las materias primas y el

uso indiscriminado de suelos y agroquímicos. La sección 5 presenta un comparativo en la favorabilidad de migrar hacia energías verdes con respecto a las brechas existentes en los seis países de referencia. En esta sección el uso de la matriz DOFA tiene como fin ser una herramienta de estudio e investigación, que abre paso a la identificación de oportunidades, debilidades, fortalezas y amenazas existentes en el sector; además, la matriz Vester es trabajada sobre una línea investigativa de gestión integral y dinámica de las organizaciones, que identifica problemas críticos, pasivos, activos e indiferentes que giran en torno a la producción de materias primas y a la forma en cómo se están manejando las mezclas de biocombustibles en Colombia, según las indicaciones de porcentajes establecidos por normatividad. La finalidad es reconocer el avance, desarrollo y limitaciones que existen basados en inferencias de datos y estudios históricos, para determinar aspectos tanto positivos como negativos y la viabilidad de aplicar estos escenarios en relación con la cadena productiva de biocombustibles en el país.

II. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de la presente investigación, se realizó una amplia revisión de literatura relacionada con el uso de los biocombustibles a nivel nacional y casos de referencia de países que han logrado implementar este nuevo sistema de energías renovables, asimismo, mejorar en el sistema de abastecimiento de materias primas para servicios de transporte.

A. Tipo de estudio

El presente estudio es descriptivo de enfoque investigativo, cuyo propósito puntual es la aproximación y revisión de literatura propuesta por diferentes autores con la finalidad de argumentar, comparar y exponer prácticas aplicadas como fuente base para la puesta en marcha de futuras investigaciones, que se hacen en torno al tema de los biocombustibles como energía alternativa. Este tipo de estudio permite tener una visión general sobre la validez y el grado de confianza que puede tener como resultado.

B. Fuentes de información

La información que se aborda en la presente investigación es producto de una revisión de fuentes secundarias, dentro de las cuales se enuncian bases de datos de la universidad —a la cual están adscritos los autores del artículo (Proquest, Scencedirect y Ebscohost)—, también están diccionarios, enciclopedias especializadas, revistas, catálogos, folletos científicos, tesis de grado e información de entes gubernamentales, entre otras fuentes de información.

C. Diseño metodológico

El desarrollo de la presente investigación se realizó con base en cuatro pasos metodológicos:

- 1) El primer paso está orientado a abarcar un análisis del sector de biocombustibles en Estados Unidos, Brasil, Indonesia, Alemania, China, Francia, Canadá y Argentina, que en principio se han caracterizado por promover el uso de etanol y diésel como combustible, a través de la consolidación de políticas gubernamentales; además, han establecido requisitos obligatorios para implementar las mezclas en un 20 % a 25 % con gasolina convencional e identificar criterios de evaluación que incluyen la demanda, producción, precio y políticas nacionales.
- 2) El segundo paso está orientado a la identificación del estado actual de la agroindustria en Colombia para evaluar puntos a favor y en contra de la cadena productiva de biocombustibles, y su estrecha relación con factores medioambientales como suelos, recursos hídricos, repercusiones sobre la biodiversidad, generación de gases de efecto invernadero y seguridad alimentaria; que bajo indicadores energéticos y ambientales son claves en la evaluación de la sostenibilidad en las cadenas de suministro a nivel industrial y la normatividad existente en Colombia.
- 3) El tercer paso presenta un comparativo que describe las brechas que existen entre el sector agroindustrial nacional con respecto a los seis países de referencia utilizados en el estudio. Aquí se enuncia la principal materia prima por país, proceso de producción del biocombustible, capacidad de producción anual, mezcla usada legalmente, medidas y normativas establecidas, así como las ventajas y desventajas con respecto a los demás biocombustibles.
- 4) El cuarto paso presenta la aplicación de la matriz DOFA, identificando factores internos y externos que, a través del método gráfico, identifica las iteraciones FODA para la generación de estrategias claves que Colombia puede implementar con el fin de incursionar en el sector de las energías renovables. Finalmente, la aplicación de la matriz Vester para considerar la situación ambiental actual en la que se encuentra el país y la determinación de problemas de tipo crítico, pasivos, activos e indiferentes.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Biocombustibles en el mundo

La industria de biocombustibles a nivel global, se encuentra en un punto de unión entre la crisis medioambiental provocada por las emisiones antropogénicas de CO₂

y la conservación de la biodiversidad respetando los ecosistemas [7]. Con estos antecedentes, las producciones de biocombustibles se han expandido con mayor prevalencia desde el 2000, impulsadas por la reducción del consumo de combustibles fósiles [7]. Para el 2019 la producción mundial de biocombustibles aumentó en las principales regiones productoras; sin embargo, en comparación con el decenio anterior, en determinados sectores, se presentó un aumento de la oferta lo que provocó que los precios del etanol y el biodiésel bajarán [8]. En este sentido para la gran mayoría de países el verdadero desafío se encuentra en la disminución de la huella de contaminación en el planeta, por esta razón, migran hacia energías limpias que incrementen el desarrollo sostenible.

Aproximadamente, el 80 % del etanol que se produce en el mundo es utilizado como combustible, especialmente en el sector del transporte; el 20 % restante es destinado a los sectores de farmacéutica y cosmética [9]. En lo que se refiere al tema de exportadores de biocombustibles a nivel mundial, existen cuatro países productores de etanol: Estados Unidos, Brasil, Pakistán, Reino Unido y la Unión Europea como ejemplo de organización internacional. En el tema de producción de biodiésel se destacan: Argentina, Canadá, Estados Unidos, Indonesia y la Unión Europea. [8].

Clasificación de la producción (periodo base)	Principales materias primas			
	Etanol	Biodiésel	Etanol	Biodiésel
Estados Unidos	1 (50 %)	2 (19 %)	Maíz	Aceite de soya
Unión Europea	4 (5 %)	1 (36 %)	Maíz / Trigo	Aceite de canola
Brasil	2 (24 %)	3 (12 %)	Caña azúcar	Aceite de soya
China	3 (8 %)	8 (3 %)	Maíz	Aceite de desecho
India	5 (2 %)	15 (0,5 %)	Melaza	Aceite de palma
Canadá	6 (1,6 %)	10 (1,4 %)	Maíz	Aceite de desecho
Indonesia	23 (0,2 %)	4 (10 %)	Melaza	Aceite de palma
Argentina	9 (1 %)	5 (7 %)	Maíz / Caña de azúcar	Aceite de soya
Tailandia	7 (1,5 %)	6 (4 %)	Melaza / Yuca	Aceite de palma
Colombia	13 (0,4 %)	9 (1,5 %)	Caña de azúcar	Aceite de palma

Tabla 1. Clasificación de la producción de biocombustibles y principales materias primas
 Fuente: tomada de [8, p. 223]

La importancia de traer en contexto a los diez países y la comunidad europea enunciados en la tabla 1, es destacar las posiciones de referencia de la clasificación realizada a nivel mundial que correlaciona la cuota de producción de los países en un periodo base [8]. De la tabla, se puede inferir que Estados Unidos ocupa el primer lugar como productor del 50 % de etanol a partir de maíz y ocupa el segundo lugar en producción de biodiésel con un 19 %, a partir de aceite de soja. En este panorama, se hacen supuestos sobre el avance que ha tenido Estados Unidos, por ejemplo, para el 2019 la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) aumentó la norma obligatoria de biocombustibles avanzados para el 2020 (+0.6 miles de millones de litros - Mml) y, así mismo, se estima mantener la subnormativa de biodiésel en 2021 [8], [10]. Entre este grupo de actores, la Unión Europea también lidera en el primer lugar como productor del 36 % de biodiésel a partir de materias primas como el aceite de canola y aceites de desecho. En junio de 2018, se acordó aumentar el objetivo de biocombustibles a un 14 % basados en cultivos alimentarios con un punto porcentual por encima de los niveles de 2020 [8].

La Unión Europea, en comparación con Estados Unidos, radica su principal diferencia en el tipo de materia prima que se emplea: la canola, también conocida como colza que se caracteriza por tener un rendimiento industrial del 50 %, por lo que se ha estimado que de una hectárea se pueden obtener alrededor de 0,540 t de aceite [11]. Para los demás países referenciados y analizando el tipo de materias primas que se usan, este sector agroindustria de biocombustibles está representado en la siembra de

palma para biodiésel y maíz para bioetanol. Asimismo, el desempeño agrícola puede estar limitado por la biodiversidad de los suelos y el favorecimiento de cultivos oleaginosos en zonas templadas y frías. Por lo tanto, es posible implementar prácticas y comparar modelos económicos sostenibles, considerando avances del rendimiento de cultivos por hectárea, según la materia prima y las limitaciones de los países referentes, con respecto a las siembras de monocultivos a nivel nacional.

1) Criterios de evaluación

Para el desarrollo del tema se explicarán algunos criterios que están directamente relacionados con los antecedentes de países que han incursionado en el uso de biocombustibles y su posterior análisis de las brechas existentes en los biocombustibles en Colombia, siendo imprescindibles para orientar y guiar el desarrollo del objetivo de investigación [10].

1.1.) Demanda: el uso de energías limpias constituye una nueva fuente de demanda de productos agrícolas como oportunidad para la generación de ingresos y asignación de un mayor número de empleos [12]. La Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés) realizó un pronóstico que indica que la proporción mundial de la demanda de biocombustibles aumentará un 10 % con respecto al 3 % que inicialmente se esperaba [12]. Los coeficientes desfavorables de los precios de los biocombustibles, en relación con los más convencionales, generan una demanda adicional de uso no obligatorio.

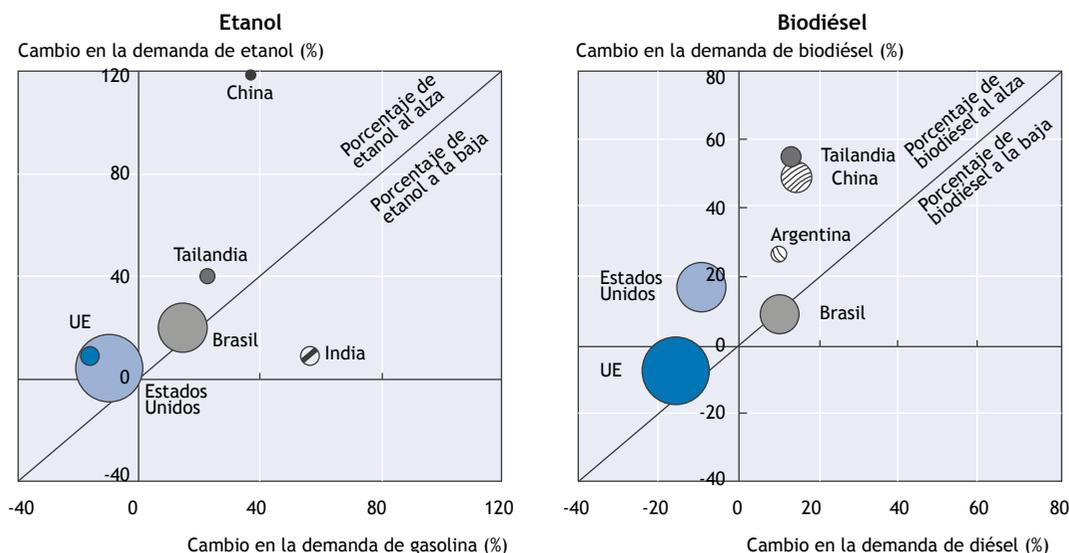


Figura 1. Evolución de la demanda de biocombustibles en las principales regiones.
 Fuente: tomado de [8, p. 221].

En la figura 1, se presenta un comparativo de la evolución de la demanda entre el etanol y el biodiésel que demuestra el porcentaje de alza y baja de cada uno de estos combustibles, los cuales se ven restringidos por las variaciones en el sector de la caña de azúcar, inherentes a la naturaleza fija de la producción de dicho cultivo.

Según las previsiones se estima que Brasil, en conjunto con la ley RenovaBio, continuará reduciendo las emisiones de combustible en un 10 % con proyección hacia el 2028; caso similar ocurre con la República de China quien anunció que para el 2020 se pondrá en marcha una nueva normativa obligatoria nacional E10 en el sector transporte y, en este misma línea, Tailandia, con las

propuestas gubernamentales, reducirá el actual subsidio a los biocombustibles, con una oferta interna de materia primas limitada por periodos [8].

1.2.) Producción: la producción mundial de etanol se prevé que alcanzará una elevación a 140 miles de millones de litros (Mml) para el 2029, en tanto que la producción de biodiésel alcanzará casi 46 Mml impulsada por el incremento en la normativa obligatoria en países exportadores. La producción mundial de biocombustibles seguirá dominada por las materias primas tradicionales, pese a la gradual sensibilidad al desarrollo de sostenibilidad de la producción de biocombustibles que se ha observado en muchos países [8].

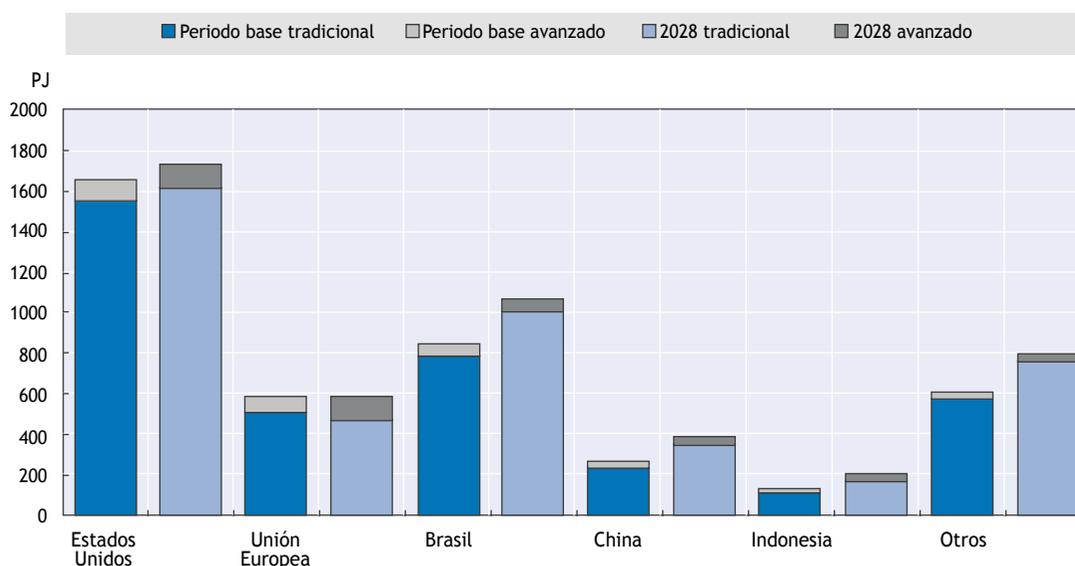


Figura 2. Producción mundial de biocombustibles de materias primas tradicionales y avanzadas.
 Fuente: tomado de [8, p. 224].

Los cereales secundarios como el maíz y la caña de azúcar se seguirán manteniendo como las principales materias primas para etanol. Los pronósticos indican que la producción de etanol utilizará un 25 % y 14 % de la producción mundial de caña de azúcar y maíz, respectivamente. Para el caso del biodiésel la producción máxima se espera mantener gracias al uso del aceite vegetal. En la figura 2, se puede inferir que la mejor producción mundial de biocombustibles de materias primas convencionales en un periodo base tradicional está en Estados Unidos, seguido de Brasil, Unión Europea, China e Indonesia, con

un alto índice de favorabilidad para el 2028 predominante en Estados Unidos [8].

1.3.) Precio: los precios de los productos agrícolas se han incrementado drásticamente durante los últimos tres años, debido a una combinación de factores que se refuerzan mutuamente, entre los que se incluye la demanda de biocombustibles [8]. Uno de los principales factores es el fortalecimiento de la relación entre mercados de diferentes productos agrícolas (cereales y semillas oleaginosas) como resultado del rápido crecimiento de la economía y la población de muchos países emergentes [13].

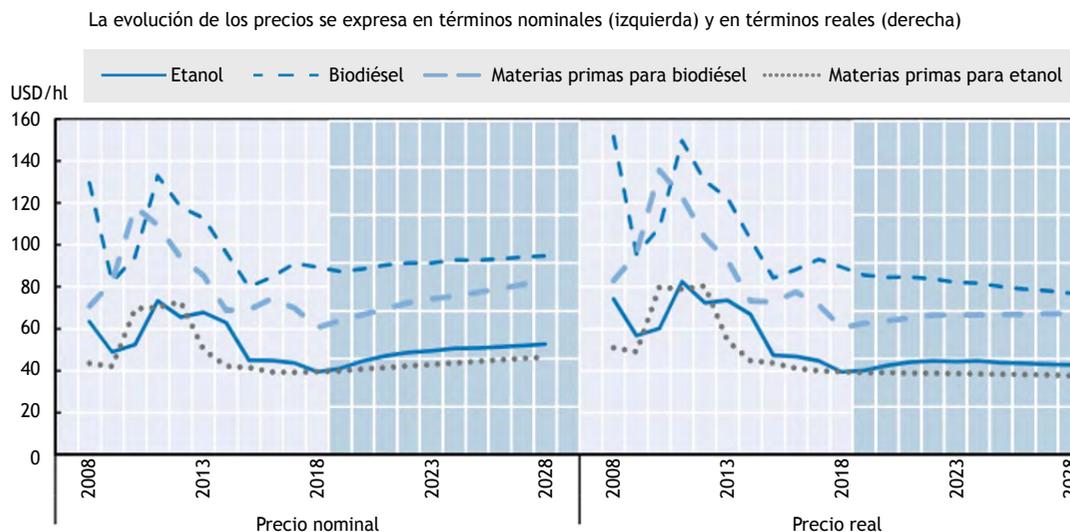


Figura 3. Evolución de los precios de los biocombustibles y de las materias primas para biocombustibles.
 Fuente: tomado de [8, p. 222].

Las investigaciones de los precios reales se calculan con base en el deflactor del producto interno bruto (PIB), se maneja el precio mundial del aceite vegetal como suplente del precio de las materias primas para biodiésel y un promedio ponderado del maíz para el etanol (figura 3). En general, la demanda de biocombustibles deberá sostenerse en los países en desarrollo, dado los avances esperados en la flotilla de transporte y las políticas que prevalecen en Brasil, Argentina, Tailandia, Indonesia, India y China [8]. En términos nominales se pronostica que el precio global del etanol aumentará cerca del 3 % y el precio mundial de biodiésel deberá incrementarse en un 11 %.

Los precios mundiales de los biocombustibles están estrechamente vinculados con la evolución de los precios de las materias primas (que están disminuyendo en términos reales), los precios del petróleo (que son constantes) y los costos de distribución, así como con las políticas sobre biocombustibles, que en conjunto hacen que aumenten en términos nominales. Esta tendencia de tipo ascendente en los precios de los biocombustibles también es un claro ejemplo de la evolución de los mismos, reflejados en los costes de las principales materias primas empleadas para la producción de etanol y biodiésel [10].

1.4.) Políticas nacionales: los mayores riesgos e incertidumbres para el futuro desarrollo del sector de biocombustibles se relacionan netamente con el entorno de políticas públicas. Los sectores de biocombustibles internacionales se ven afectados en gran medida por políticas nacionales con tres principales objetivos: apoyo a los productores, reducción de la emisión de gases de efecto invernadero y una menor dependencia energética [8].

Si bien, estas medidas de referencia en el mercado de biocombustibles son una clara evidencia de la necesidad de adaptabilidad a políticas gubernamentales que, por lo general, se encuentran controladas por grandes monopolios, para los países subdesarrollados estas medidas implican una dependencia, así como una falta de acceso en la adquisición de herramientas tecnológicas. Esto deriva en que, la necesidad financiera este bajo la actuación de economías internas que pueden fácilmente llegar a la saturación de demanda y crisis de la seguridad alimentaria [10].

2) Países de referencia

2.1.) Caso Estados Unidos: la industria del biodiésel en Estados Unidos inició con las fases de investigación y desarrollo alrededor de 1994, con un crecimiento progresivo; a tal punto que para el 2004 inició la fase de comercialización. Como consecuencia, su aumento en el comercio de biodiésel de este país llegó al objetivo de ser el 5 % del suministro de diésel para 2013, cumpliendo la visión de la industria 5x15. La nueva visión es 10x22 que indica llegar a ser el 10 % del suministro de combustible diésel para el 2022, que utiliza como referencia la oferta de este para el transporte vehicular [14].

2.2.) Caso Brasil: desde el inicio de la colonización portuguesa, el azúcar se convirtió en el principal producto agrícola de exportación. El 90 % de la caña de azúcar en Brasil se cultiva en el sureste en los estados de São Paulo, Goiás, Mato Grosso y Paraná. En estas regiones la expansión de los cultivos de azúcar fue por encima, principalmente, sobre los cultivos de soja, pastos y sobre áreas que antes eran forestales o reforestadas [15]. A su vez, la ganadería

se ha extendido hacia el norte y centro oeste donde se encuentra la selva amazónica. La actual expansión de la ganadería se considera el principal factor de la deforestación de la selva y es una clara evidencia de los cambios generados por la expansión de la caña de azúcar en Brasil. En el intento de combatir el calentamiento global, se eligió el etanol como la alternativa oficial para evitar tanto la crisis azucarera, como la de combustibles fósiles, temas que fueron incluidos en la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro (1992) y el Protocolo de Kioto (1997) [15].

2.3.) Caso Indonesia: en esta nación el componente bio consiste en ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME) hechos de aceite de palma. Actualmente, Indonesia importa alrededor de 400.000 barriles por día de crudo y una cantidad similar de productos refinados. A pesar de ello, el caso de Indonesia es alarmante, pues a pesar de albergar la más amplia cobertura de bosque tropical en Asia, este país vive las cifras de deforestación más rápidas del mundo: 5,9 millones de hectáreas de bosque que se perdieron entre el 2000 y el 2008. De los cuales más de dos millones de hectáreas eran bosques protegidos y áreas de conservación; el problema es que estos bosques se han convertido ilegalmente en plantaciones de aceite de palma [16].

2.4.) Caso Alemania: a comparación del diésel convencional, en Alemania se incluye el R33 que es una fórmula a base de residuos biológicos que ayudan a disminuir el CO₂, contiene un 33 % de restos de aceite de cocina usado mezclado con un 67 % de diésel convencional [17]. Emplear aceites usados en Alemania y algunas regiones europeas tiene un doble efecto medioambiental por el incremento sustancial de contenido orgánico. Este nuevo combustible cumple con la norma europea DIN EN 590 por lo que puede ser comercializado sin restricción alguna [18].

2.5.) Caso China: este país es el tercer productor mundial de bioetanol y utiliza cerca de 2,6 millones de toneladas al año. Busca construir un sistema avanzado de biocombustible líquido capaz de producir 50.000 toneladas de etanol celulósico al año, con visión para el 2020. Además, el país asiático prohibió en 2007 el uso de cereales para la producción de etanol y así garantizar que la oferta de alimentos sea suficiente; razón por la cual, los productores de biocombustibles se han centrado en la patata, el sorgo y la paja [19].

2.6.) Caso Francia: la Asamblea Nacional Francesa aprobó nuevas normativas de biocombustibles en gasolinas y gasóleos, indicando que los combustibles que utilicen aceite de palma no se consideran biocombustibles y no entran dentro de los objetivos propuestos por la ley.

Global Bioenergies se centra en el uso de combustibles de segunda generación con el objetivo de llegar al 2030 con un 15 % de combustibles renovables en el transporte [20].

2.7.) Caso Canadá: el consumo de etanol aumentó de 1.700 millones de litros en 2010 a 2.850 millones de litros en 2016, lo que representa más del 6 % del consumo de combustible. Este consumo redujo los gastos de combustible en Canadá en un 0,26 % con un costo equivalente a un ahorro promedio de US\$ 16 por año, para un consumidor de gasolina [21].

2.8.) Caso Argentina: la matriz energética está basada en derivados de petróleo (33 %) y de gas natural (54 %), es decir, energías no renovables, la ley nacional de biocombustibles asigna incentivos para promover su producción fijando un corte obligatorio a partir del 2010 con un 5 % de biodiésel y 5 % de bioetanol. Argentina es uno de los principales productores de soja en el mundo, la expansión sojera ha implicado la deforestación de aproximadamente 2,5 millones de hectáreas de bosques nativos ubicados en el noreste de Argentina [22].

B. Biocombustibles en Colombia

Para analizar el estado actual de los biocombustibles en Colombia se parte de la cadena productiva de los biocombustibles con base en diferentes ítems de referencia que serán enumerados a continuación:

1) Producción

La búsqueda de nuevas estrategias ambientales es un factor clave que determina el avance de un país; no obstante, parte de las características históricas de Colombia se encuentran marcadas por el uso de combustibles de origen fósil que por años han sido altamente demandados. En consecuencia, se ha presentado el agotamiento del recurso y un sobreesfuerzo por evitar reducir las emisiones de gases tóxicos. La necesidad evolutiva del hombre por encontrar nuevas alternativas de mejora, trajo consigo la diversificación de métodos de obtención y materias primas poco convencionales.

A nivel mundial, este avance se ha convertido en la principal fuente de suministro en países más desarrollados que han logrado llegar a estudios puntuales, a través de los que se obtienen biocombustibles de insumos vegetales de tipo no alimenticio (tercera generación) o incluso a partir de algunas bacterias específicas (cuarta generación). Estos países a pesar de no contar con la diversidad térmica y de suelos por los que se caracteriza Colombia han logrado avanzar exitosamente; y parte del análisis planteado en este apartado permite inferir la necesidad

de incursionar en nuevos proyectos de investigación que sean financiados por entes multidisciplinarios para avanzar en cada uno de los elementos que conforman las cadenas productivas.

En Colombia únicamente se producen biocombustibles a partir de dos materias primas, características de la región: el uso de caña de azúcar y yuca para la producción de etanol, cuya producción inició el 3 de octubre del 2005 y, tiempo más tarde, incursionó en el uso de materias primas como el aceite de palma (biodiésel) que desde el 1 de enero del 2008 registra producción [23]. Para el 2013, en Colombia se produjo 2,12 millones de toneladas de azúcar a partir de 21,56 millones de toneladas de caña; de alcohol carburante se produjeron 387 millones de litros destinados a la mezcla con gasolina en una proporción E8 (8 % de etanol y el 92 % restante de gasolina convencional) [24].

Por consiguiente, se aclara que la necesidad de incursionar en otras materias primas, que también se encuentran en territorio colombiano, básicamente está orientada

a evitar que se llegue a un límite de disponibilidad de petróleo, específicamente en departamentos como el Meta y Santander, que tienen un considerable número de hectáreas destinadas a esta actividad y que han sentido los impactos de la explotación petrolera.

La competitividad en el sector de los hidrocarburos es un claro desafío para los futuros ingenieros, quienes deben trabajar en función de la mitigación de los efectos que se pueden desencadenar como consecuencia del incremento y producción no planificada de recursos.

Según lo enuncia la Federación Nacional de Biocombustibles de Colombia, la producción de etanol es de aproximadamente 1.200.000 litros por día, en seis de las refinerías más importantes, cinco de ellas localizadas en el departamento del Valle del Cauca que tiene como insumo el uso de caña de azúcar y una sola ubicada en el departamento del Meta, que tiene como materia prima el uso de yuca amarga. En conjunto, estas han hecho posible reemplazar el 8,5 % de la gasolina que se consume en el país [25].

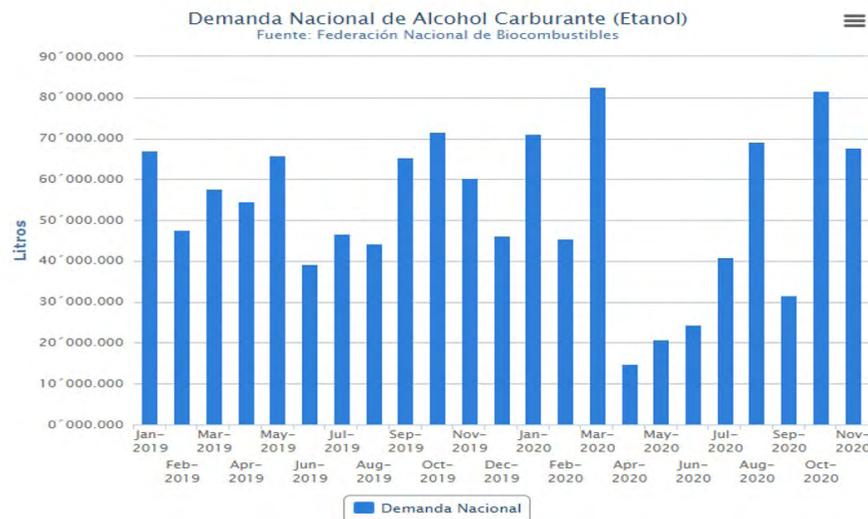


Figura 4. Demanda nacional de alcohol carburante (etanol) 2019-2020.
Fuente: tomado de [26].

En la figura 4, se presenta la demanda nacional de etanol que es estimada en función de las importaciones más la demanda de producción nacional. Para un análisis más concreto, se toma un periodo de tiempo comprendido entre enero de 2019 hasta diciembre de 2020. En la figura, se evidencia que para el primer año durante el mes de junio se alcanzó el peor promedio con un total de 39.359.218 litros. Claramente se refleja un comportamiento cambiante que pudo estar influenciado por los bajos precios, ofertados por empresas importadoras, además de la carencia en la protección del mercado en el país.

Tanto así, que se llegó a pensar que la producción nacional podría sufrir un periodo de decadencia de más del 50 %, esto implicaría fuertes cambios para los gremios y empresarios del sector agroindustrial.

Para el 2020, el máximo promedio se alcanzó en el mes de marzo con un registro de 82.671.299 litros y aunque se tenían altos pronósticos de producción de etanol, esperando a que se triplicará en el transcurso del año, la coyuntura del COVID-19 trajo consigo una caída en la demanda de etanol, a tal punto que para el mes de

abril solo se demandaron 14.744.229 litros (figura 4). En el sector industrial esta situación implicó un claro problema en la capacidad de almacenamiento de crudo, así como la caída de los precios del barril, la detención de operaciones en plantas productoras, entre otras dinámicas que influenciaron en el escenario de los biocombustibles y su rol como producto de exportación.

Sumado a esto, también se presenta la demanda nacional de biodiésel, que es calculada bajo los mismos parámetros del bioetanol y un periodo de tiempo comprendido entre

enero de 2019 hasta diciembre de 2020. Se pronosticó una producción de aproximadamente 10.000 barriles diarios de biodiésel en seis refinерías, tres localizadas en la Costa Caribe, una en el distrito portuario de Barrancabermeja, una en el departamento de Cundinamarca y una en el departamento del Meta. Con estas refinерías se ha podido sustituir el 9 % del diésel consumido, principalmente en el suministro de los sistemas de transporte de carga pesada y de pasajeros, como en la utilización de equipos de tipo industrial.

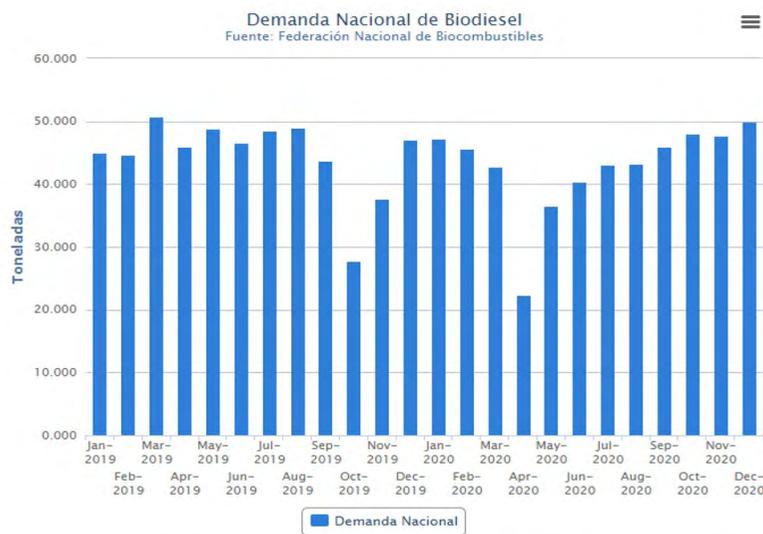


Figura 5. Demanda nacional de biodiésel.
Fuente: tomada de [27].

Analizando el primer semestre de 2019, se puede evidenciar un comportamiento favorable en el crecimiento de la demanda de este biocombustible (figura 5), que aumentó con relación a los años anteriores. La razón puede estar directamente influenciada en algunos cambios de normatividad emitidos para los transportadores, quienes debían aumentar la mezcla de B12 (12 % de biodiésel y 88 % de combustible convencional), con el objetivo de que los vehículos de carga pesada al ser los medios de transporte de las industrias trabajen en conjunto por la disminución y mejoramiento de los indicadores de las emisiones de gases de efecto invernadero circulante en las carreteras del país.

Si comparamos este comportamiento con el 2020, en el mes de abril, claramente se ve reflejado el stop que a nivel mundial la emergencia sanitaria generó en varios sectores económicos. A pesar de tener una disminución con respecto al periodo anterior, que corresponde a 2019, la figura evidencia un crecimiento lento, pero positivo en la demanda de biodiésel; y sí se evalúa

este comportamiento en comparación con el bioetanol, claramente la aprobación de varias resoluciones colombianas fueron un punto focal para el despliegue de pruebas piloto en vehículos que iniciaron a implementar estas nuevas mezclas.

De los estudios que hasta el momento se han registrado sobre la medida y porcentajes de mezclas con gasolina convencional que se demandan, se puede inferir que Colombia aún puede fortalecer las políticas que introduzcan gradualmente nuevos cambios en las mezclas ofertadas en todo el territorio nacional. La distribución en el porcentaje de mezcla de etanol más usual es E10, que indica un 10 % de etanol y un 90 % de gasolina [28]. De forma similar los resultados arrojados por las gráficas también evidencian que aún sigue siendo más demandado el uso del bioetanol que se obtiene a partir de cereales y cultivos, lo que puede significar un factor predisponente de uso por su facilidad de obtención, a diferencia del biodiésel, que se produce a partir de aceites vegetales de semillas oleaginosas y este tipo de cultivos es propio de ciertas regiones colombianas [29].

2) Análisis del ciclo vital

El análisis del ciclo vital es un instrumento analítico que se emplea para calcular el balance de los gases de efecto invernadero (GEI). El resultado es un comparativo de todos los gases en las diferentes fases de producción y de empleo

de biocombustibles, junto con las emisiones y el uso de cantidades equivalentes de energía de combustible fósil proporcionado. Este método analiza sistemáticamente cada componente de la cadena de valor para estimar las emisiones de gases [30].

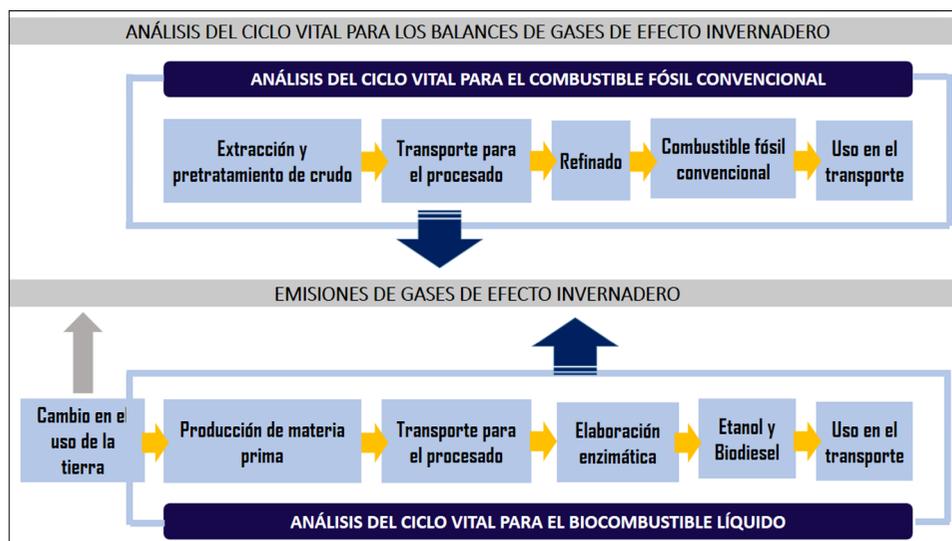


Figura 6. Análisis del ciclo vital para los balances de gases de efecto invernadero.
Fuente: adaptado de [30, p. 64].

Los análisis del ciclo de vida de biocombustibles registrados hasta el momento se han centrado en cereales y semillas oleaginosas en Estados Unidos y de etanol obtenido a partir de caña de azúcar en Brasil. La mayoría de los estudios ponen de manifiesto que la producción de biocombustibles de primera generación (1G) reducen las emisiones entre un 20 % y 60 % en comparación con los combustibles fósiles [30].

Tras la evaluación del ciclo de vida, también se logra determinar cuáles son las interacciones que intervienen específicamente en la ampliación de la producción y asignación de áreas como, por ejemplo, los cultivos y la relación con distintos factores negativos, que a largo plazo pueden resultar desencadenando problemas serios para el medio ambiente.

En la figura 6, se evidencia gráficamente los componentes del ciclo vital para el combustible fósil convencional, el cual representa el mayor porcentaje de utilización para la industria colombiana. Puntualmente, este se diferencia del ciclo de biocombustibles líquidos en su primera etapa. El ciclo de combustibles fósiles inicia con la extracción y el pretratamiento de una de las alternativas energéticas más explotadas en las últimas décadas, el petróleo. Este continúa con el transporte para el procesado, refinado, obtención de gasolina o diésel y, finalmente, su distribución para uso en el transporte.

El segundo ciclo representa los biocombustibles líquidos que muestra una diferencia en la forma en la cual se usa el suelo, para este caso se parte de la producción de materias primas que involucra elementos como la tierra, el uso de fertilizantes, el agua, la maquinaria, el transporte para el procesado, la elaboración de biocombustibles a partir de enzimas, las sustancias químicas, la utilización de energía, la obtención de etanol y biodiésel y, finalmente, su distribución para uso en el transporte.

Con este comparativo, se pretende llegar a configurar un panorama no muy lejano en el que la obtención de este tipo de crudo será todo un reto y en cómo se puede llegar a manejar los verdaderos problemas en el coste de extracción, que actualmente se ha propuesto a través del conocido *fracking*. La inversión en pozos de petróleo puede llegar a ser una idea de cambio prometedora; no obstante, hay algunos procesos que se sumarán como la perforación de terreno que es una de las fases con altas repercusiones ambientales; por esto deberán ser evaluadas y a groso modo pueden ser una forma de re direccionar recursos económicos para estudios investigativos en plantas piloto, con capacidad de obtener biocombustibles de tercera y cuarta generación a través de la experimentación.

3) Recursos

En el análisis del ciclo vital, se evidencian las diferencias con respecto a los combustibles convencionales, para la primera etapa la producción de biocombustibles requiere de recursos específicos que hacen parte de las necesidades por considerar y que se describen a continuación:

3.1.) Recursos de suelos: las cadenas productivas, que serán el medio de cambio en el tema de biocombustibles, comprenden la estratificación de procesos que se deben desarrollar en dos partes: agrícola e industrial [31]. Las interacciones en la obtención de materias primas como la caña de azúcar, algunos cereales, la palma de cera y la soja, deben ser previamente planificadas porque las inadecuadas prácticas sobre los cultivos son un factor que puede llegar a reducir la materia orgánica del suelo y, por ende, incrementar la erosión mediante la eliminación de la cubierta permanente de varios tipos de terrenos [30]. Adicionalmente, la eliminación de residuos vegetales influye sobre la reducción del contenido de nutrientes del suelo, aumentando las emisiones de gases de efecto invernadero debido a la pérdida de carbono del mismo.

Este primer aspecto que se analiza, abre paso a considerar qué tanto ayuda el uso de biocombustibles en las emisiones de gases como el CO₂. De alguna manera, cualquier cambio que se genere a nivel de desarrollo industrial trae consigo un conjunto de condiciones ambientales con las cuales se debe interrelacionar una cadena de producción [32]. Por ejemplo, la normatividad nacional actualmente está en función de regular el correcto uso de suelos a través de especificaciones como el tipo de sustancias químicas y fertilizantes que están legalmente autorizados para uso agrícola; al igual que, la disposición de hectáreas previamente autorizadas para las plantaciones de gran magnitud, en la cual la presencia de monocultivos no tenga graves repercusiones sobre la biodiversidad.

3.2) Recursos hídricos: gran cantidad de los cultivos que son empleados en la actualidad para la producción de biocombustibles como la caña de azúcar, el aceite de palma y el maíz, exigen significativos requerimientos de agua, a niveles de rendimiento casi comerciales. De manera global, el agua destinada a la producción de biocombustibles está estimada en 44 kilómetros cúbicos, es decir, el 2 % del total del agua de irrigación. Bajo las actuales condiciones de producción se necesita un promedio de 2.500 litros de agua para producir un litro de biocombustible [33]. De permitir la expansión de los biocombustibles, la implementación de todas las políticas y planes nacionales actuales en torno a los biocombustibles necesitaría de 30 millones de hectáreas de tierra cultivable y 180 km cúbicos adicionales de aguas de

irrigación [34]. En la tabla 2, se pueden observar los cultivos que más demandan regadío de agua y su relación con los cambios de evapotranspiración.

Cultivo	Evapo-transpiración (Litros/ litros de combustible)	Evapo-transpiración del cultivo en secano (mm/ha)	Necesidad de agua del cultivo en regadío (mm/ha)
Caña de azúcar	1.400	1.000	800
Maíz	550	400	300
Palma de aceite	1.500	1.300	0
Colza	500	400	0

Tabla 2. Necesidades de agua para cultivos de biocombustibles.

Fuente: adaptado de [30, p. 73].

En este punto de evaluación, se pueden precisar las posibles implicaciones que tendría una expansión de cultivos específicamente destinados para la generación de este tipo de fuentes renovables. Claramente, se necesitará de sistemas de regadío potenciales que traerán consigo consecuencias graves en el equilibrio de los recursos hídricos a nivel local. Según los datos suministrados en la tabla 2, en un estudio realizado por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés), se observa que el cultivo de caña de azúcar es la plantación con mayor requerimiento de regadío con un estimado de 1.333 litros periódicamente. Para analizar un contexto más cercano, se debe considerar que únicamente en el Valle del Cauca se tienen asignadas 225.000 hectáreas para cultivos de caña de azúcar, sin considerar otros departamentos pilares en este tipo de siembras y las demás materias primas que también son cosechadas [35].

Es por ello que, se hace obligatorio un estudio ambiental que oriente el uso de suelos y especifique cuales son las áreas tropicales del país que tienen gran pluviosidad o, por el contrario, que puedan ser sometidas a condiciones de secano, entendiéndose por este término aquellos cultivos que solo utilizaran como fuente hídrica las aguas lluvias, como el caso de Lloró en Chocó, en el que según datos estadísticos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam), se presenta una cuarta parte por encima de las lluvias promedio registradas en todo el país [30]. Por otra parte, considerar también hacer un adecuado manejo de las aguas residuales contaminadas que en ocasiones son liberadas sin ningún tipo de tratamiento, incrementado las probabilidades de eutrofización.

3.3.) Afectaciones sobre la biodiversidad: en aspectos generales, la biodiversidad silvestre se ve seriamente amenazada por la pérdida del hábitat cuando se realiza la expansión de un área destinada a la producción de cultivos, mientras que la biodiversidad agrícola es vulnerable frente a los monocultivos a gran escala, lo que significa en términos puntuales: cosechar pequeños reservorios de réplicas de material genético que disminuirán las variedades tradicionales en cultivos que se pueden sembrar [30].

En consecuencia, esta pérdida de agrobiodiversidad por tratar de mantener uniformidad en los cultivos de las plantaciones de materias primas, que son empleadas para biocombustibles, toma como base una sola especie [36] y por ende, la explotación del suelo que es sometido a fuertes exigencias nutricionales. Esto generará con el tiempo, que el suelo se erosione influenciando en los ciclos del agua y afectando el ecosistema natural de las regiones en las cuales existen este tipo de plantaciones.

3.4.) Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI): el cálculo se basa en datos históricos sobre expansión de la tierra y aumentos de los rendimientos para producir biocombustibles. Los resultados dejan ver que las emisiones generadas por los cambios indirectos son sustancialmente mayores si se comparan con el combustible fósil tradicional [20]. Adicionalmente, los estudios estiman el tiempo real requerido para que a través de los biocombustibles se comience a reducir estas emisiones de carbono. En promedio se estiman 35 años para el etanol y 50 años para el biodiésel.

4) Seguridad alimentaria

Un estudio realizado por la FAO destacó cuatro canales fundamentales a través de los cuales el crecimiento agrícola puede intervenir en la mitigación de la pobreza [30]. El primer aspecto está relacionado con el crecimiento directo de los ingresos, seguido de la reducción de los precios alimentarios, el crecimiento del empleo y, finalmente, el pago de salarios justos.

No obstante, si se considerara un panorama no tan factible, el desarrollo potencial a nivel agrícola puede tener una relación que debe estudiarse desde dos puntos de vista: el primero reduciendo la disponibilidad de agua para uso doméstico de las zonas aledañas a los cultivos y el segundo es el fomento de actividades de cocina más económicas a través del uso de este tipo de biocombustibles [37]. Lo que sugiere una relación costo beneficio que estará netamente determinada por los habitantes de la región, quienes en función de estas dos posturas podrán determinar las condiciones que desean sobrellevar.

5) Cadena de suministro

Actualmente, los modelos de optimización utilizados en la gestión de la cadena de suministro de biomasa se ocupan con mayor frecuencia de decisiones estratégicas como la ubicación, la capacidad de plantas y el diseño de redes de suministro [38].

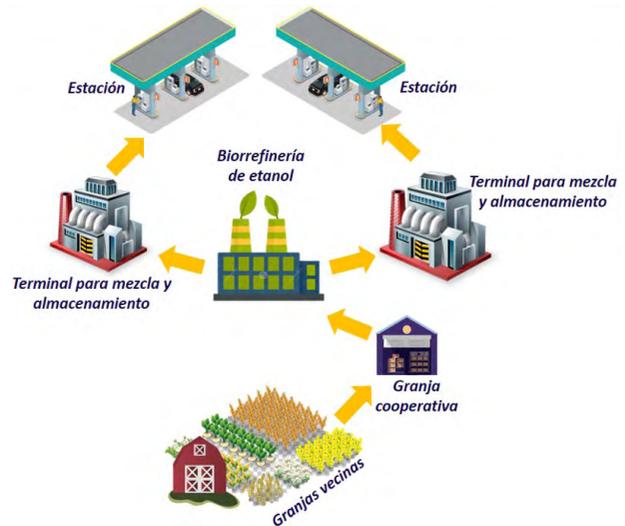


Figura 7. Cadena de suministro de biocombustibles.
Fuente: adaptada de [5, p. 97].

Tras la determinación de las estaciones, terminales, biorrefinerías y granjas aledañas, estos modelos apoyan decisiones de nivel táctico y operativo, logrando que las técnicas de modelación matemática y sus alternativas de solución mejoren significativamente con los años; además, incorporando una visión integrada para trabajar con cadenas de suministro complejas como las de los biocombustibles, en donde la coordinación y cooperación entre eslabones requiere de la toma de decisiones estandarizadas en función de los objetivos globales de las refinerías [5].

Si se consideran los departamentos colombianos cuya actividad agroindustrial es óptima para el cultivo de materias primas y la generación de biocombustibles, se evidencia que son una variable de cambio que repercute directamente en las limitaciones de siembra y adquisición de equipo de trabajo que adecue el terreno según el cultivo. Por ende, los requerimientos propios de la cadena de suministros según la región tienen limitaciones en comparación con aquellas cadenas de suministro de gran magnitud de países referentes.

Así se parte de la propuesta de un análisis de factibilidad económico que arroje datos puntuales sobre los costos de producción sea de biodiésel o de bioetanol, y que estudie los factores ambientales como recursos del suelo, hídricos, biodiversidad y alimentos. Estos son



eslabones característicos y diferentes para cada sector de producción, que exige del acondicionamiento de riego, procesamiento y manejo de normatividad en biorrefinerías, derivados de plantaciones, procesos de transformación en planta e intervención tecnológica dentro de los avances de producción, siendo un factor de competitividad comercial.

Las cadenas de suministro de biocombustibles, como se observa en la figura 7, tienen una interconexión directa con las terminales de almacenamiento, que estratégicamente deben ser localizadas entre las fincas productoras y las biorrefinerías. Este punto de ubicación garantiza la disminución de transportes de materias primas y la mejor conservación de las mismas, condicionante del incremento en las tasas de productividad de este tipo de plantas. Este segundo aspecto también merece de un análisis de favorabilidad que incluya dentro de su planificación, una segmentación de los sectores agrícola e industrial con la identificación de actores dentro de cada esquema de la cadena de producción, que puede ser simplificada en campos de producción de materias primas, refinerías y puntos de distribución [39].

6) Normas aplicadas

Para tener una idea clara del contexto normativo, se evidenció que Colombia presenta varios antecedentes en reformas y políticas que, desde el año 2000, han buscado reducir el uso de combustibles fósiles en el territorio nacional. Dicha normatividad a su vez busca cumplir con las políticas ambientales a nivel mundial y presenta una clara oportunidad e incentivo de crecimiento en la agroindustria del país.

Dentro de las leyes fomentadas, se encuentra la Ley 693 de 2001, por la cual se dictan las normas para el correcto uso de alcoholes carburantes y obliga a oxigenar con bioetanol las gasolinas consumidas en todos los centros urbanos en los que habitan más de quinientos mil habitantes.

En segunda instancia, la Ley 939 de 2004 estimula la producción y comercialización de biodiésel, ya sea de origen vegetal o animal para uso en motores diésel [40]. Tiene como objetivo llegar a cumplir con las mezclas que se han establecido dentro del territorio nacional, dependiendo de la zona o incluso de la actividad económica se pueda llegar a articular con la demanda de biodiésel y la oferta regional de insumos. Para los años siguientes, el gobierno nacional expidió la Ley del diésel o la ley 1205 de 2005, esta busca el mejoramiento de la calidad de vida a través de combustibles que minimicen el impacto ambiental con base en parámetros internacionales [40]. En el 2017, se presenta la resolución 2254 que incorporó un ajuste progresivo de los niveles máximos permisibles de contaminantes, considerando los lineamientos dados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) [41].

Para el 2018, se adoptó el Conpes 3943, una política para el mejoramiento de la calidad del aire cuyo objetivo general es reducir la concentración de contaminantes en el aire que afectan la salud y el ambiente [42].

La puesta en marcha de este tipo de políticas pone de manifiesto la idea de exponer la importancia de generar normatividades que conjuguen la industria y el medio ambiente en un solo hecho. Si se toma en cuenta algunas de las necesidades mencionadas anteriormente, con respecto al uso de diversas materias primas, este tipo de políticas no solamente promueven, sino que obligan a realizar una revisión de los avances en plantas de producción que pueden incursionar en la generación de biocombustibles con materias agrícolas como la remolacha, soja o algunos tipos diferentes de yuca; adicionalmente, también pueden ser explorados estos recursos, potenciando los beneficios que se pueden tener a nivel de combustión. El enfoque de sostenibilidad, sin duda alguna, es el factor común en todas las instancias reglamentarias que se han expedido desde el 2000, que en relación con los datos de demanda de bioetanol y biodiésel muestra la necesidad de priorizar estrategias en el sector agroindustrial, para avanzar en las plantas y refinerías afectadas por el impacto del COVID-19 en el 2020.

C. Análisis de favorabilidad

A continuación, se presenta el análisis de la favorabilidad del uso de biocombustibles en Colombia, identificando puntualmente aquellos determinantes que permiten migrar hacia economías sostenibles con respecto a las brechas de seis países tomados como referencia, enunciados a continuación:

País	Colombia
Biocombustible	Bioetanol.
Materia Prima	Caña de azúcar, maíz.
Producción	Proceso de producción a través de fermentación anaeróbica de azúcares en solución acuosa.
Capacidad	1.200.000 litros diarios
Mezcla	E8
Medidas	Ley 693 de 2001 decreto Nacional por el cual se dictan normas sobre el uso de alcoholes carburantes, se crean estímulos para su producción, comercialización y consumo.
Ventajas	Reduce el 10 % de las emisiones de gases de efecto invernadero
Desventajas	Apropiación ilícita de hectáreas de tierra no autorizadas, deforestación, monocultivos, amenaza a la seguridad alimentaria.

Tabla 3. Análisis de favorabilidad en Colombia.
Fuente: elaboración propia.

La producción de bioetanol en Colombia (tabla 3) usa la caña de azúcar, maíz y algunos cereales como materia prima para la generación de bioetanol. No se ha especializado en el uso de una sola materia, en particular, debido a que los procesos de producción a través de la fermentación y transesterificación abren paso al tratamiento de esta variedad de materias. En la actualidad, la mezcla de biocombustibles está regulada en función de la demanda de cada ciudad y las cantidades disponibles; así la mezcla de mayor uso es la E8 que ha logrado reducir hasta el 10 % las emisiones de gases de efecto invernadero.

Bajo este contexto, la verdadera brecha de los biocombustibles en Colombia requiere de la transformación de las biorrefinerías a través de alianzas estratégicas con las plantas productoras de bioetanol actuales, con un enfoque de mejora en el rendimiento de 386.953 litros por día (el más alto del país), para asegurar que se cubra la capacidad de producción anual estimada [43]. Apoyar los proyectos que están desplegándose requiere de intervenciones estratégicas para entrar en la etapa de nuevos procesos de producción, con la posibilidad de vincular inversionistas que deseen incursionar en el desarrollo de proyectos de investigación, basados en nuevos modelos de uso de biocombustibles que tengan de la experiencia del sector y representen una clara oportunidad de mejora en departamentos como el Cesar, Magdalena, Meta, Casanare, Santander, Valle del Cauca, Risaralda y Caldas, asimismo, el uso especializado de materias primas [18].

País	Estados Unidos
Biocombustible	Bioetanol
Materia Prima	Maíz
Producción	Procesos de producción a partir de molienda seca.
Capacidad	17.300 millones de galones anuales 2020.
Mezcla	E10 y E15.
Medidas	Norma de los Combustibles Renovables de 2007 (RFS, por sus siglas en inglés) por la cual se exige considerar los impactos indirectos del uso de bioetanol sobre sistemas ecosistémicos con programas de comercio de bonos; Comités Nacionales para permitir la participación conjunta de estos sectores.
Ventajas	Reduce el 10 % de las emisiones de gases de efecto invernadero
Desventajas	Uso de gas natural para producir vapor y uso de fertilizantes nitrogenados y herbicidas en las plantaciones de maíz.

Tabla 4. Análisis de favorabilidad en Estados Unidos.
Fuente: elaboración propia.

Para el caso de Estados Unidos (tabla 4) en correlación con la producción de bioetanol en Colombia, se infiere que el biocombustible, la materia prima y el impacto en las reducciones de gases de efecto invernadero tienen grandes similitudes de aplicación. Básicamente la materia prima de mayor uso para los dos países es el maíz cuyos requerimientos ambientales exige de la presencia de suelos aireados y con sistemas de drenado amplios que necesitan del regadío de agua en niveles de uso controlado, bajo condiciones climáticas tropicales. Al estar correlacionado con grandes hectáreas de siembra se requiere de alta fertilidad del suelo, a través del uso de nutrientes adicionales que deben ser puntualmente analizados para evitar incurrir en un problema de erosión de suelos.

De los aspectos enunciados en la tabla 3, la favorabilidad que Colombia tiene con respecto a la forma en la cual se desarrolla en Estados Unidos, se diferencian principalmente en las medidas que se han adoptado a nivel legislativo; puesto que se llega a destinar un gran porcentaje del maíz a la producción de este alcohol carburante y esto trae consigo afectaciones en los indicadores económicos de los productores nacionales, cuya causa son las cuantiosas inversiones económicas que se necesitan para las importaciones.

País	Brasil
Biocombustible	Bioetanol.
Materia prima	Caña de azúcar.
Producción	Proceso de hidrólisis y fermentación.
Capacidad	35.600 millones de litros con un alza del 7,5 % anual.
Mezcla	E20 y E25.
Medidas	Ley 11.097 de 2005 por la cual se establecen los porcentajes mínimos de mezcla de diésel de tipo facultativo y de tipo obligatorio en los sistemas de transporte.
Ventajas	Reduce el 65 % las emisiones de gases de efecto invernadero.
Desventajas	Práctica de quema de caña de azúcar antes de la cosecha liberando grandes cantidades de metano y óxido nítrico.

Tabla 5. Análisis de favorabilidad en Brasil.
Fuente: elaboración propia.

La industria del bioetanol con respecto a los procesos que realiza Colombia difiere del tipo de materia prima en la cual se ha especializado Brasil. A pesar de que Colombia cuenta con una ocupación aproximada de

240.000 hectáreas para las siembras de caña de azúcar, en el departamento del Valle del Cauca, actualmente las toneladas de caña son destinadas en gran proporción a la producción de panela la cual representa para el país 1,75 millones de empleos directos e indirectos.

La brecha más notable con respecto a la forma en la cual se genera bioetanol en Brasil es la asignación de recursos a procesos de hidrólisis y fermentación en el que se han especializado, y únicamente a la transformación de esta materia prima, sin descartar ocasionalmente el uso de algunos cereales (tabla 5).

Para el caso de la caña de azúcar no se tiene ningún tipo de requerimiento especial en suelos; sin embargo, a diferencia del maíz requiere de altas concentraciones de agua especialmente durante la etapa de crecimiento. En cuanto a especificaciones nutricionales, se necesita de potasio y nitrógeno que en fases iniciales se reduce significativamente, para conservar la calidad del azúcar, en un clima apto para este tipo de cultivos tropical y subtropical. Estas asignaciones en el área de producción de bioetanol han traído consigo excelentes resultados en el tipo de mezclas que se pueden usar en el sector del transporte, llegando a la normativa E20 y E25 que reducen hasta el 65 % las emisiones de gases de efecto invernadero, en comparación con el 10 % que logra reducir Colombia con sus procesos.

País	Indonesia
Biocombustible	Biodiésel.
Materia Prima	Aceite de palma.
Producción	Transesterificación catalítica en medio básico con metanol.
Capacidad	32 millones de toneladas anuales.
Mezcla	B30.
Medidas	Reglamento Ministerial No. 11/2015 por el cual se emiten permisos para el uso de la tierra de plantaciones de palma; uso de biodiésel que contenga un 20 % de contenido biológico (B20), típicamente aceite de palma.
Ventajas	El biodiésel se degrada 5 veces más rápido que el diésel fósil y puede ser usado como solvente.
Desventajas	Altos costos de materias primas e incremento en los niveles de deforestación.

Tabla 6. Análisis de favorabilidad en Indonesia.
Fuente: elaboración propia.

Actualmente, Colombia cuenta con once plantas productoras de biodiésel, con las cuales ha logrado llegar a niveles de producción de 200.000 toneladas al año, con la característica de emplear procesos de transesterificación, al igual que lo hace Indonesia (tabla 6).

La brecha con respecto a este país de referencia se encuentra en las medidas y legislaciones que existen en Indonesia, en la que el porcentaje en las mezclas es de B30 y para finales de 2020 se espera lograr el uso de mezclas B50, esperando que se reduzcan las importaciones de petróleo, lo que reduciría la balanza comercial de este país. El aceite de palma en cuanto a requerimientos ambientales necesita de un buen drenaje de los suelos y condiciones de pH fijos, los niveles de precipitación ideal oscilan de 1.800 a 5.000 mm, con bajos requerimientos de nutrientes y un clima tropical y subtropical con temperatura media entre los 25 y 32 grados centígrados, ideal para las plantaciones.

País	Alemania
Biocombustible	Bioetanol.
Materia Prima	Remolacha.
Producción	Proceso de hidrólisis enzimática
Capacidad	10,52 miles de barriles diarios.
Mezcla	E10.
Medidas	Reforma de la ley de energías renovables de 2021 por el cual se mantiene la fórmula de biocombustible 33 % de residuos biológicos, mezclado con un 67 % de diésel convencional.
Ventajas	Reduce el 53 % las emisiones de gases de efecto invernadero
Desventaja	Tiene menor contenido energético que la gasolina convencional.

Tabla 7. Análisis de favorabilidad en Alemania.
Fuente: elaboración propia.

La principal brecha existente entre el sistema de producción de bioetanol colombiano y el de Alemania radica en el tipo de materia prima que se usa. Alemania (tabla 7) se ha enfocado en el uso de la remolacha que requiere de suelos bien drenados y tolerante a altas concentraciones de salinidad. Los mayores niveles de agua se emplean durante la fase de crecimiento en un rango de 500 a 750 mm, con necesidades nutricionales como el nitrógeno y una alta demanda de fertilizante, no requiere de temperaturas específicas y un ambiente templado es suficiente para su siembra.

A pesar de reducir en un 53 % las emisiones de gases de efecto invernadero, su uso en un contexto colombiano se ve limitado por el alto grado de fertilizantes que se

requieren. En este aspecto a pesar de contar con algunas normativas que indican el tipo de agroquímicos que están autorizados dentro del territorio nacional, la falta de conocimiento puede causar el uso inadecuado de los mismos y generar un grave desequilibrio en el pH de los suelos, aumentando los costos dentro de las cadenas productoras que deben regular el uso, almacenamiento y transporte de fertilizantes altamente tóxicos.

País	China
Biocombustible	Bioetanol celulósico.
Materia Prima	Celulosa, lignina o pectina.
Producción	Sistema híbrido de gasificación y fermentación.
Capacidad	50.000 toneladas de etanol celulósico al año.
Mezcla	E10.
Medidas	Ley de energías renovables, artículo primero de 2009 por el cual se establece el uso de biocombustibles como energías renovables y la prohibición de cereales para la producción de etanol para garantizar que la oferta de alimentos sea suficiente y los productores de biocombustibles se centren en la patata, el sorgo y la paja.
Ventajas	El uso de lignocelulosa es una materia prima muy abundante y diversa.
Desventajas	Requiere mayor cantidad de procesamiento para hacer monómeros de azúcar, para producir etanol por fermentación.

Tabla 8. Análisis de favorabilidad en China.
Fuente: elaboración propia.

De los seis países de referencia enunciados, la brecha más significativa se encuentra en el contexto asiático, China se encuentra en la producción de bioetanol de segunda generación que es elaborado a partir de celulosa o lignina a través de sistemas híbridos sofisticados (tabla 8). Al tener limitaciones con el uso de suelos fértiles o la selección de temporadas viables para las plantaciones, China no compite con la producción de alimentos, sino que hace uso de los residuos forestales y desperdicios de papel. Esta técnica ha sido capaz de aumentar la producción anual de toneladas de etanol, con el uso estándar de mezcla E10 suficiente para el sector transporte.

País	Argentina
Biocombustible	Bioetanol.
Materia Prima	Melaza, soja.
Producción	Proceso de fermentación a partir de biomasa.
Capacidad	950.000 toneladas por año.
Mezcla	E12.
Medidas	Establecer un régimen de desgravaciones y otros incentivos para promover la producción de biocombustibles (Ley nacional No. 26.093 2006-2021)
Ventajas	Reduce el 64 % las emisiones de gases de efecto invernadero.
Desventajas	Mal uso de suelos por el incremento en las cosechas de soja.

Tabla 9. Análisis de favorabilidad en Argentina.
Fuente: elaboración propia.

Finalmente, el país de referencia que se analiza es Argentina pionero en el uso de melaza y soja para la generación de bioetanol. Este tipo de materia prima requiere de suelos húmedos con gran contenido orgánico y aunque el nivel de regadío es muy alto, como consecuencia no requiere del uso de agroquímicos, por el contrario, los niveles de pH óptimo oscilan entre 6 a 6,5, este pH puede ser controlado a través de plantaciones paralelas que regulan las condiciones del suelo, que junto a temperaturas por encima de 20 grados logra los niveles adecuados de acidez (tabla 9). Al igual que en Colombia se hace uso de procesos de fermentación para su obtención, su principal brecha se encuentra en la calidad del biocombustible que ha logrado reducir hasta un 64 % las emisiones de gases de efecto invernadero que cumple con todas las legislaciones, llegando a establecer mezclas obligatorias de E12 para todo el sector transporte.

D. Matriz DOFA

En la tabla 10 se presenta la matriz DOFA, con esta herramienta se busca identificar los aspectos importantes del entorno de los biocombustibles en Colombia. Se analizan los factores internos, fortalezas y debilidades, y factores externos oportunidades y amenazas.

Factores Internos	
Fortalezas	Debilidades
<ul style="list-style-type: none"> Colombia es un país que, por sus características ecosistémicas en zonas cálidas, tiene un gran potencial agrícola para llevar a cabo el desarrollo de proyectos que incursionan en el uso de biocombustibles. En el momento se encuentran registrados en el sector agroindustrial diferentes gremios que buscan incorporar tecnología que mejore el proceso de producción de biocombustibles hasta de tercera generación. A nivel económico, el sector agroalimentario en Colombia representa aproximadamente el 5 % del PIB de la región. 	<ul style="list-style-type: none"> Colombia aún no ha establecido normatividades públicas que incentiven al uso de biocombustibles, razón por la cual la mezcla establecida en el país para el etanol es del 8 % y de biodiésel en una relación (B8-B10) en términos porcentuales. La oferta de biocombustibles en Colombia a nivel local, desafortunadamente aún no supe la demanda interna del producto. Las plantas productoras de biocombustibles en Colombia no cuentan con la financiación suficiente para incluir estudios ambientales que permitan evaluar las zonas en las cuales se realizan los cultivos a gran escala.
Factores Externos	
Oportunidades	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> El sector agrícola puede evitar monocultivos a través de la siembra de diferentes materias primas (maíz, yuca, caña de azúcar, cereales y semillas oleaginosas). La cadena de agro-alimentos en el país representa un aporte del 49 % en exportaciones de tipo energéticas, donde aún se puede crecer. El sector agroindustrial genera más del 20 % de empleos en el país, es decir que aporta a la disminución de la pobreza en regiones costeras gracias a la producción de biocombustibles. 	<ul style="list-style-type: none"> Afectación a futuro de recursos hídricos y de suelos por inadecuado uso de agroquímicos. Perdida de la biodiversidad en el país por siembras (monocultivos) en zonas destinadas para una materia prima en particular. Afectación en la economía de las materias primas empleadas para la producción de biocombustibles, con fuertes repercusiones sobre la seguridad alimentaria.

Tabla 10. Matriz DOFA.
 Fuente: elaboración propia.

A continuación, se presentan los resultados de las estrategias FODA que fueron identificados con la correlación de fortalezas y oportunidades, debilidades y amenazas existentes dentro del sector de biocombustibles en Colombia, tomando como base los ítems de referencia analizados en el contexto nacional:

- Iteración Fortalezas-Oportunidades:** de manera gráfica en la figura 8, se puede evidenciar que la interacción de los factores evaluados en el análisis interno, tomando tres actores del sector: productores, refinerías y entes gubernamentales, tienen una relación positiva y analiza las ventajas del sector con la posibilidad de fomentar el cultivo de diferentes materias primas, que aseguren la biodiversidad agroindustrial según las condiciones ambientales.
- Iteración Fortalezas-Amenazas:** es analítica y permite poner a prueba las ventajas del país frente a la reducción de la brecha de biocombustibles, dando

a conocer estos puntos negativos que son de gran importancia para permitir o no su desarrollo.

- Iteración Debilidades-Oportunidades:** es alentadora, demuestra la oportunidad de desarrollo en el sector de biocombustibles comparado con países más avanzados en esta industria y muestra qué necesidades están latentes para lograr una reducción de la brecha. Señala la oportunidad de fortalecer normatividades que regulen el uso de suelos y fuentes hídricas que se puedan ver afectadas y la sensibilización al cambio sostenible que reemplace o se combine con menor porcentaje de combustibles de tipo fósil.
- Iteración Debilidades - Amenazas:** es realista, considera de primera mano las afectaciones que tendrá el medio ambiente tras reducir la brecha de biocombustibles e interroga estas prácticas que favorecen otros aspectos como la industria y la economía.

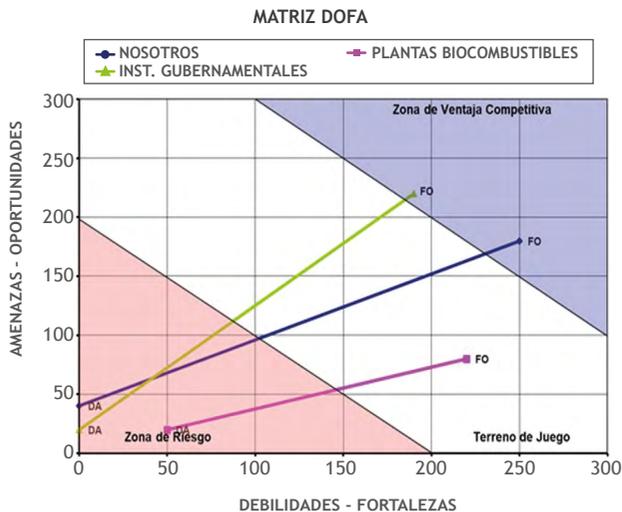


Figura 8. Análisis gráfico e iteraciones de matriz DOFA.
 Fuente: elaboración propia.

1) Estrategias resultado

A continuación, se describen las estrategias de iteraciones FODA a través de la correlación de los factores internos y externos descritos en la tabla 10. Por cada ítem de referencia que se enuncia: debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas, se propone una estrategia para abordar cada una de las iteraciones que fueron asociadas dentro de la matriz.

1.1.) Estrategias fortalezas-oportunidades:

- Incursionar en estudios ambientales que determinen las materias primas que se pueden sembrar en una misma hectárea y así lograr cultivos bio diversos en departamentos como el Valle del Cauca, Cesar, Magdalena, Meta, Casanare, Santander, Risaralda y Caldas, aprovechando las condiciones tropicales y semitropicales de las regiones y la predisposición del suelo para cultivos como soya, cereales y mijo, que en correlación con las materias primas de los seis países de referencia analizados, son una alta oportunidad para Colombia porque dentro de los requerimientos ambientales este tipo de plantaciones necesitan de bajos requerimientos de agroquímicos y condiciones de pH determinadas en el suelo; además, éstas se puede lograr con la siembra de plantaciones que aporten esas condiciones de acidez y salinidad necesarias.
- Ampliar la participación de pequeños y medianos productores en el mercado de biocombustibles, con la finalidad de acogerse a los grandes gremios que apoyan el desarrollo de la región y en términos de producción de materias primas; asimismo, proponer

objetivos a largo plazo que incluyan el uso de residuos agrícolas o forestales para comenzar con el plan de generación de biocombustibles de segunda generación.

- Establecer políticas nacionales que regulen las actividades de producción energética renovable, respetando los requerimientos medio ambientales y asegurando que la agroindustria de biocombustibles aumente los índices de empleos directos e indirectos con los cambios que se realicen en las cadenas productivas de generación de etanol y diésel. A nivel agrícola, el acompañamiento de políticas públicas debe estar orientado a la generación de empleos a nivel rural bajo la normativa social de cuidado del medio ambiente.

1.2.) Estrategias debilidades-oportunidades:

- Realizar una reorganización de los pequeños productores colombianos de biocombustibles para permitir su participación en el mercado nacional, como parte del sistema de logística de materias primas que incluye infraestructura para procesos de transesterificación, equipos de hidrólisis, mano de obra, sistemas de recolección, almacenamiento y, finalmente, los sistemas de operaciones de transporte.
- Para asegurar el crecimiento en el campo de las energías renovables es necesario sensibilizar a la población sobre los cambios que se deben realizar en los sistemas de automotores, con la finalidad de aumentar la demanda de biocombustibles en otros departamentos del país. Igualmente, informar sobre los efectos de incluir biocombustibles en relación con el rendimiento, a propósito del cambio y la unidad de combustión completa para aportar a la generación de menos emisiones de gases de efecto invernadero.
- Financiar a través de entidades gubernamentales proyectos de investigación que emplee a los futuros ingenieros, ambientalistas y científicos, con el fin de orientar el sector agroindustrial colombiano hacia la producción de biocombustibles de segunda generación con base en residuos agroindustriales y gramíneas. En comparación con el modelo implementado en China, estas orientaciones limiten el uso de cereales para garantizar la seguridad alimentaria.

1.3.) Estrategias fortalezas-amenazas:

- Limitar los territorios asignados para los cultivos de materia prima (caña de azúcar, maíz, cereales, soya, aceite de palma y mijo) destinada a producir biocombustibles, cuya área agrícola comprende

aproximadamente unos siete millones de hectáreas con la respectiva reglamentación ambiental de uso de suelos y de ejecución de plantas.

- Establecer reglas de producción que obliguen a las plantas a cultivar sosteniblemente; esto implica que, según el departamento y las condiciones climáticas y de suelos, se seleccionen el tipo de materias primas que se pueden cultivar.
- En Colombia aún se presentan fuertes problemas de seguridad alimentaria en poblaciones pobres y vulnerables, por ende, limitar la disponibilidad y asignación de cultivos, según el comportamiento de la producción, hace parte de la planificación del sector agroindustrial. El maíz al ser una de las materias primas de mayor facilidad en la siembra, representa una amenaza principalmente en este aspecto de seguridad, puesto que su uso debe ser limitado y reemplazado por materias primas como el mijo, la soya y algunos cereales que bajo condiciones ambientales no requieren de suelos especiales. Asimismo, el uso de agua debe ser limitado al ser cultivos resistentes a sequías, así los niveles de agroquímicos son casi que limitados y se puede sembrar en otro tipo de departamentos, con características como el clima cálido o templado, pero no tropical.
- Dentro del proceso de producción de biocombustibles se implementan formas rentables de conversión de biomasa a través de maquinaria y equipos de transesterificación que garantizan un promedio porcentual en los precios que se ofertan en el mercado. Aquellos productores que abusen en primera instancia de los niveles de expansión de cultivos y en segunda instancia de los precios establecidos para el cliente final, deben ser sancionados, con la finalidad de garantizar la situación socio ambiental; además que se continúe con un plan de transporte y disposición al público de biocombustibles bajo el rendimiento de mezclas establecido con precios accesibles en la industria.

1.4.) Estrategias debilidades-amenazas:

- La sustitución de cultivos ilícitos y la producción de energías limpias a través de los biocombustibles en Colombia representan la mejor alternativa de aprovechamiento de suelos para transformar miles de hectáreas de zonas cocaleras. Igualmente, indicar la capacidad de producción de estos territorios entrega una nueva oportunidad de crecimiento a los productores de la región, para disminuir las brechas existentes entre el uso de materias primas

a nivel mundial y las planificaciones agrícolas que presenta Colombia. Al realizar proyecciones de cambio en siembras sostenibles se está pensando en que incremente las proporciones de uso de mezclas para disminuir el porcentaje de emisiones de gases de efecto invernadero.

- Asegurar las plantaciones de al menos cuatro tipos de materias primas diferentes en zonas de alta pluviosidad, que incluyan la caña de azúcar como la materia prima de mayor expansión en el departamento del Valle del Cauca. Es importante sensibilizar a la comunidad de la importancia de erradicar el consumo de combustibles de tipo fósil y de sembrar estratégicamente con base en: el tipo de suelo, los niveles de regadío, el uso de agroquímicos y las condiciones climáticas.
- Establecer que la cadena productiva de biocombustibles únicamente sea ejercida por plantas que contemplen planes de mejoramiento ambiental y se comprometan con el uso de técnicas de mejora para proyectar a futuro el uso de biocombustibles de segunda generación (B2G) y biocombustibles de tercera generación (B3G).

E. Matriz Vester

A continuación, se presenta la matriz de Vester una de las herramientas implementadas en la investigación, con la finalidad de jerarquizar y priorizar problemas. Confrontando variables entre sí basándose en los siguientes criterios de calificación: 0, 1, 2 y 3.

0: No lo causa.

1: Lo causa indirectamente o tiene una relación de causalidad muy débil.

2: Lo causa de forma semidirecta o tiene una relación de causalidad media.

3: Lo causa directamente o tiene una relación de causalidad fuerte.

1) Variables de análisis de matriz Vester

1.1.) Políticas nacionales: el uso de mezclas obligatorias para el país, los mecanismos de ejecución, las inversiones en materias primas no tradicionales para elaborar biocombustibles y los cambios de las exenciones fiscales para biocombustibles.

La mezcla obligatoria dicta los porcentajes de alcohol o aceite vegetal que debe contener el combustible a nivel nacional.

1.2.) Producción: la creciente sensibilidad al aspecto de sostenibilidad de la producción de biocombustibles que se observa en el país, en suma, con el apoyo de diferentes gremios y sectores económicos.

*La producción de materias primas para biocombustibles
(caña de azúcar - palma de aceite).*

1.3.) Demanda: la demanda se sostiene por la mezcla obligatoria decretada en el país y esta crece debido a los precios constantemente bajos de la energía, materia prima y demás eslabones de la cadena productiva.

La demanda de biocombustibles en el país.

1.4.) Precio: se tiene la relación precios del petróleo y biocombustibles, si el precio del petróleo crudo se duplica durante un periodo esto reduciría la demanda de gasolina y de diésel. Manteniendo este mismo escenario los precios de los biocombustibles, al igual que los de las materias primas para su producción, mantendrían una tendencia ascendente.

Precio de biocombustible en el país.

1.5.) Emisiones GEI: el uso de biocombustibles conlleva a menores emisiones de gases de efecto invernadero y una menor dependencia energética. No obstante, un cambio indirecto es el riesgo de que los cultivos usados para producir biocombustibles puedan desplazar otras actividades de producción agrícola o pecuaria, hacia tierras con coberturas que pueden constituirse como reservas de carbono, para que finalmente se generen significativas emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de la conversión de estas tierras, lo que podría invalidar cualquier reducción de GEI lograda con la implementación de los biocombustibles [33].

Reducción en emisiones GEI.

1.6.) Empleo: permitir los cambios en las prácticas agrícolas acelera el empleo en áreas rurales para producir materia prima y satisfacer diferentes necesidades de la cadena productiva.

Empleo acelerado en áreas rurales para monocultivos.

1.7.) Recurso hídrico: los cultivos empleados en la actualidad para la producción de biocombustibles, como la caña de azúcar, el aceite de palma y el maíz, requieren

cantidades relativamente elevadas de agua a niveles de rendimiento comercial.

Afectación en el recurso hídrico del país.

1.8.) Recurso de suelo: unas prácticas de cultivo inadecuadas pueden reducir la materia orgánica del suelo e incrementar la erosión del mismo mediante la eliminación de la cubierta permanente del suelo. La eliminación de residuos vegetales puede reducir el contenido en nutrientes del suelo y aumentar las emisiones de gases de efecto invernadero debido a la pérdida de carbono del suelo [30].

Afectación en el recurso de suelo y extensión de tierras del país.

1.9.) Recurso biodiversidad: en general, la biodiversidad silvestre se ve amenazada por la pérdida del hábitat cuando se expande un área destinada a la producción de cultivos, mientras que, la biodiversidad agrícola es vulnerable frente al monocultivo a gran escala, basado en un pequeño reservorio de material genético que puede conllevar también la disminución del uso de variedades tradicionales. La primera vía para la pérdida de biodiversidad es la pérdida del hábitat como resultado de la conversión de tierras, como bosques o praderas, para la producción de cultivos [30].

Pérdida de biodiversidad en el país

1.10.) Seguridad alimentaria: los productores que migran al sector de biocombustibles abandonan producción de básicos productos de la canasta familiar, la expansión de monocultivos obliga a reducir el cultivo tradicional e indirectamente aumenta los precios de alimentos, que no tendrán espacio de producción; de esta manera serán escasos y pasa a ser un problema de seguridad alimentaria.

Afectación en la seguridad alimentaria en el país.

La finalidad de la matriz Vester tabla 11 es determinar cuál de las variables tiene mayor repercusión causa-efecto analizando la relación entre cada una de las diez variables descritas anteriormente, y su posterior ubicación dentro del plano cartesiano, que a través de cuadrantes de limitación (tabla 12) permite visualizar el grado de influencia en el plano x con respecto al grado de dependencia en el plano y.

Variabes	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	Total
P1		3	2	2	0	2	3	3	3	3	21
P2	0		2	3	0	3	3	3	3	3	20
P3	0	2		3	0	0	3	3	2	2	15
P4	0	2	3		0	0	0	0	0	0	5
P5	0	0	2	0		0	0	0	0	0	2
P6	0	3	0	0	0		0	0	0	3	6
P7	0	0	0	0	0	0		3	3	3	9
P8	0	0	0	0	0	0	3		3	3	9
P9	0	0	0	0	0	0	3	3		1	7
P10	0	3	0	0	0	2	0	0	0		5
Total Dependencia	0	13	9	8	0	7	15	15	14	18	
P= (Total Influencia X Total Dependencia)	0	260	135	40	0	42	135	135	98	90	

Tabla 11. Matriz de Vester.
 Fuente: elaboración propia.

	Variabes	Dependencia (x)	Influencia (y)
P1	Mezcla obligatoria de biocombustibles en el país	0	21
P2	Producción de materias primas para biocombustibles	13	20
P3	Demanda de biocombustibles en el país	9	15
P4	Precio de biocombustibles en el país	8	5
P5	Reducción de emisiones GEI	0	2
P6	Empleo acelerado en áreas rurales para monocultivos	7	6
P7	Afectación en el recurso hídrico	15	9
P8	Afectación en el recurso de suelo y extensión de tierras	15	9
P9	Pérdida de la biodiversidad en el país	14	7
P10	Afectación en la seguridad alimentaria	18	5

Tabla 12. Resultados de dependencia e influencia entre variables P1-P10.
 Fuente: elaboración propia.

2) Análisis matriz Vester

Con los resultados de dependencia e influencia se construye desde la matriz Vester un árbol de problemas (figura 9) para jerarquizar los mismos.

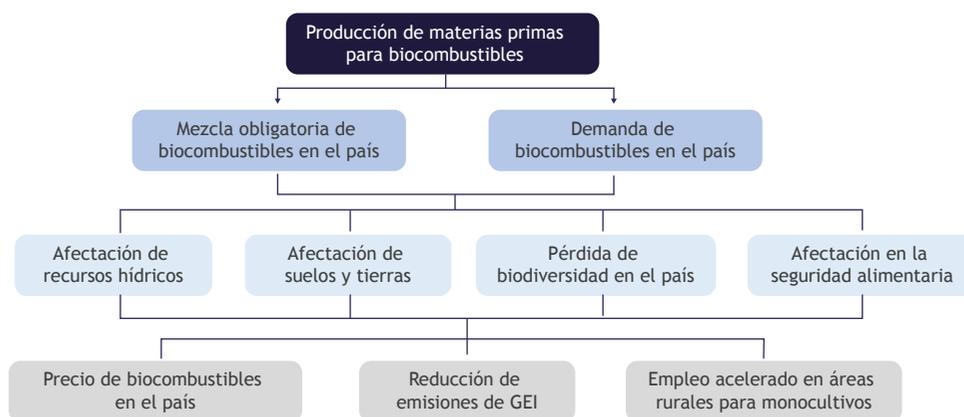


Figura 9. Árbol de problemas de los problemas causa-efecto
 Fuente: elaboración propia.

Jerárquicamente se puede evidenciar que la producción de materias primas para biocombustibles es el problema crítico en función de las relaciones causa-efecto que presenta con las demás variables analizadas. Su estado se encuentra directamente influenciado por la demanda y las mezclas obligatorias de biocombustibles en Colombia, que, a su vez están determinados por cuatro variables pasivas e indiferentes que se analizan posteriormente.

2.1.) Cuadrantes de la matriz Vester: el grado de influencia de los valores asignados en el análisis relacional consiste en que, si más del 30 % de las ponderaciones corresponden al valor 3, el sistema emitirá un aviso de inconsistencia; de lo contrario el sistema arrojará un aviso de consistencia. Para tal efecto, el sistema analiza los problemas con base en su nivel de influencia y dependencia. Sobre este conjunto de problemas se realizará la distinción planteada anteriormente, tal como se muestra en la figura 10.

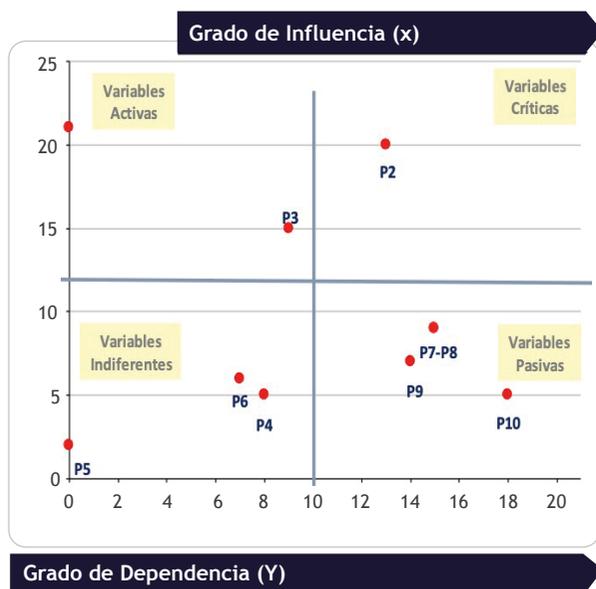


Figura 10. Plano cartesiano obtenido de graficar la matriz Vester.
 Fuente: elaboración propia.

Total de ponderaciones asignadas: 100
No. de ponderaciones con valor de 3: 27

Una vez se correlacionan las diez variables de análisis contenidas en la tabla 12 y según los valores de calificación descritos, se concluye que:

- La variable 1 y 3 que se encuentran en el cuadrante superior izquierdo son activas e indican la raíz o los generadores del problema central.

- La variable 2 que se encuentran en el cuadrante superior derecho es crítica, es decir, el problema central en el cual se debe puntualizar.
- La variable 4, 5 y 6 que se encuentran en el cuadrante inferior izquierdo son indiferentes.
- La variable 7, 8, 9 y 10 que se encuentran en el cuadrante inferior derecho son pasivas o también conocidos como problemas efecto.

PROBLEMAS ACTIVOS	
P1	Mezcla obligatoria de biocombustibles en el país
P3	Demanda de biocombustibles en el país
PROBLEMAS CRÍTICOS	
P2	Producción de materias primas para biocombustibles
PROBLEMAS INDIFFERENTES	
P4	Precio de biocombustibles en el país
P5	Reducción de emisiones GEI
P6	Empleo acelerado en áreas rurales para monocultivos
PROBLEMAS PASIVOS	
P7	Afectación en el recurso hídrico
P8	Afectación en el recurso de suelo y extensión de tierras
P9	Pérdida de la biodiversidad en el país
P10	Afectación en la seguridad alimentaria

Tabla 13. Identificación de problemas relación causa-efecto.
 Fuente: elaboración propia.

De la tabla 13, se obtuvo que la variable: “P2. Producción de materias primas para biocombustibles” se sitúa en el cuadrante crítico, este representa la problemática que se debe abordar con mayor importancia, por tener un total de activos y pasivos altos, y de causa-efecto que presenta en correlación con las demás variables. Se pone de manifiesto la necesidad de disminuir las brechas existentes entre Colombia y los seis países de referencia comparados (Estados Unidos, Brasil, Indonesia, China, Alemania y Argentina), quienes difieren en la especialización de materias primas para la obtención de etanol y diésel. En el caso de Colombia es necesario disminuir el número de plantaciones de caña de azúcar en el departamento del Valle del Cauca e incrementar la biodiversidad de cultivos con la siembra de soya, cereales o piensos; que tienen requerimientos de agua más bajos y generan un ambiente óptimo de acidez y salinización del suelo, para así mismo disminuir el uso de agroquímicos, que a largo plazo generen erosión de los suelos.

La siembra planificada dará apertura a pronósticos e indicadores que permitan identificar las fechas ideales de siembra en relación con los niveles de pluviosidad, las materias primas que se pueden sembrar en conjunto

para evitar monocultivos, la diversificación en climas templados y la selección de las materias en función de los tipos de nutrientes y niveles de pH; limitando extensiones a gran escala de siembras como el maíz que, sin duda alguna, es una amenaza para la seguridad alimentaria.

Los problemas pasivos tienen un alto total de pasivo y bajo total de activo. Estos problemas representan poca influencia causal, pero es posible intervenir los problemas activos para que los pasivos sean solucionados o mermados. En este cuadrante se encuentran las afectaciones de recursos hídricos, de suelos, pérdida de biodiversidad y afectaciones sobre la seguridad alimentaria, estos problemas son efectos del dificultad central o crítico en este caso: “Producción de materias primas para biocombustible”, es decir que, si se analiza en un contexto general, engloba lo impactos de los biocombustibles sobre los aspectos ecosistémicos. De hecho, durante la fase agro industrial, la transformación de biocombustibles por medio de la transesterificación genera impactos fuertes sobre la calidad del agua, especialmente aquellas cantidades que son contaminadas con fertilizantes, pesticidas y herbicidas. Ya que desembocan en cuerpos de aguas superficiales y áreas subterráneas que poco a poco se infiltran en las capas del suelo y como consecuencia genera afectaciones en la fertilidad de los ecosistemas. A partir de revisiones de expediente de procesos ambientales y jurídicos que se han denunciado, se evidencia que la fase de adecuación de terrenos para el inicio de plantaciones de palma también es un condicionante que ha generado la tala de árboles, afectación de bosques tropicales y construcción de canales de riego que desembocan en ríos, puesto que al no tener permisos de ejecución esta adecuación de terreno es un claro ejemplo de intervención a través de la asignación de permisos ambientales que limitan el uso del territorio nacional y se sancionen las acciones ilegales que afectan el medio ambiente.

Los problemas indiferentes presentan un bajo total de activos y pasivos, es decir, ni causan a otros ni son causados y se consideran de baja prioridad dentro del sistema analizado. En este cuadrante, se encuentra las variables como el precio de los biocombustibles en el país, reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y el empleo acelerado en áreas rurales para monocultivos. Estos son factores estructurales visibles pues, posteriormente, pueden considerarse supuestos para el cumplimiento de los objetivos planteados.

Los problemas activos presentan un alto total de activos y bajo total de pasivos. No son causados por otros, pero influyen mucho en los demás criterios y se consideran la causa principal de la situación problema, entre los que se encuentra: demanda y mezcla obligatoria de

biocombustibles en el país. Dos variables que se asocian específicamente a las normatividades y regulaciones que el Estado decreta para el uso, comercialización y distribución de bioetanol y biodiésel dentro del territorio colombiano.

IV. CONCLUSIONES

La investigación permitió identificar que en la actualidad la decisión de invertir en la producción de biocombustibles, es motiva principalmente para disminuir las brechas existentes entre el modelo que lleva Colombia con respecto a los países analizados. Este análisis concluye que la principal brecha gira en torno a la selección y producción de materias primas. Si se incursiona en el uso de cultivos de crecimiento rápido con materias primas como la soja, el pienso, los cereales y el maíz se debe garantizar que la producción a gran escala sea realizada en hectáreas de cultivo que estén bajo las condiciones y requerimientos ambientales, lo que incluye análisis de los suelos, uso racional de los suministros de regadío de agua, uso de agroquímicos autorizados en bajas cantidades y aprovechamiento de las condiciones climáticas, como temperatura y periodos de secano.

La implementación de fases de desarrollo en plantas de producción piloto son un punto de partida de evaluación del comportamiento de los biocombustibles en territorio colombiano. Estas pruebas de desarrollo abarcan la segunda brecha que se debe abordar en torno al uso de materias primas y se correlaciona directamente con la siembra planificada, especialmente de caña de azúcar, ya que algunos insumos requieren de concentraciones muy altas de agua para mantener los cultivos óptimos durante todas las fases de crecimiento. Es por ello que, bajo pronósticos climáticos, se deben seleccionar las temporadas ideales de siembra y verificar que los sistemas de salida de aguas residuales que contienen químicos, como producto de los procesos de fertilización, sean recolectados y tratados con procedimientos paralelos, para que disminuyan las concentraciones de nitrógeno y acidez en el medio, evitando la generación de aguas nitrogenadas en la superficie.

Por consiguiente, orientar los estudios de investigación en función de la selección de materias primas de producción en regiones como el Valle del Cauca, Meta y la Costa Caribe, regiones que presentan las refinerías más importantes del país. Además, es preciso descarta el uso de materias como la remolacha, que a pesar de ser la mejor alternativa para Alemania y logra reducir en un 53% la emisión de gases de efecto invernadero, en el contexto colombiano la exigencia de este cultivo, implica altas concentraciones de fertilizantes para su crecimiento, lo

que generaría una grave consecuencia medioambiental; así como procesos de eutrofización al no contar con normativas rigurosas que verifiquen la calidad y componentes de los agroquímicos que se distribuyen

En términos de cadenas de producción, se puede inferir que la necesidad de evaluar la brecha de uso de materias primas es una realidad que se debe empezar a considerar en todo el sector agroindustrial, con la finalidad de disminuir el tiempo en el cual, para un periodo no muy lejano, el uso de petróleo será un recurso casi exclusivo de empresas energéticas e industrias petroquímicas. La aplicación de nuevos sistemas de transformación de materias, como la caña de azúcar, maíz y cultivos oleaginosos provenientes de la soja y la palma, implica un nuevo reto para los ingenieros, quienes dentro de la planificación de recursos deben propender por la experimentación y cambios en los pasos procedimentales de transformación de la materia. Un claro ejemplo del desarrollo e investigación son los procesos de transformación de biomasa como la celulosa, lignina o pectina a través de sistemas híbridos sofisticados que usa China, para la generación de bioetanol celulósico o de segunda generación (2G) que tienen la capacidad de generar altos niveles energéticos en un lapso de tiempo estándar y bajo costos de producción rentables.

Si se habla de brechas, el enfoque y lo que ha diferenciado a los países exportadores potenciales de etanol y biodiésel, como Estados Unidos, Brasil, Pakistán, Reino Unido y la comunidad de la Unión Europea, es el modo de ejecución de sus operaciones para disminuir la huella de contaminación a nivel mundial. Estos Estados han adoptado medidas flexibles en el precio ofertado a los usuarios y en la obligación del cumplimiento de las políticas nacionales, llegando en algunos países a mezclas E20 (80 % de gasolina y 20 % de biocombustibles).

La favorabilidad de biocombustibles en el sector económico se encamina hacia la conformación de un clúster que logre aumentar la productividad de toda la cadena de producción, así como la implementación de tecnología en las diferentes fases del proceso, utilización completa de la capacidad instalada en las refinerías e incorporación de ideas innovadoras sostenibles en el manejo de recursos hídricos de riego. En conclusión, bajo parámetros normativos es fundamental que en los gobiernos de países como Colombia, se reconsidere la actualización de la legislación vigente, direccionando su enfoque, no solo al mejoramiento de la calidad de vida a través de la reducción de actividades económicas con altos porcentajes de emisión de gases, sino que incorporen un modelo de capacitación al usuario que informe sobre los ajustes que se deben realizar en los automotores que cumplan con las mezclas exigidas E10 (90 % de gasolina y 10 % de biocombustibles). En el caso de la agroindustria,

esta mezcla aplica a los transportadores y las empresas encargadas de mediar los sistemas de distribución que se desplazan por el territorio nacional.

En el comparativo de los ciclos vitales entre los combustibles fósiles y los biocombustibles, se puede concluir que su principal diferencia se presenta directamente en la etapa de inicio de la cadena de producción. La obtención del crudo implica inversiones cuantiosas y cambios en la forma en la cual se está pensando reestructurar las formas de extracción —*fracking*—, que sencillamente a largo plazo traerá consigo graves consecuencias ambientales; por consiguiente, evaluar el ciclo vital de los biocombustibles es un mecanismo de avance hacia el desarrollo de actividades agroindustriales de manera sostenible.

El aprovechamiento de los recursos, dentro del ciclo vital de los biocombustibles, tiene variantes que deben ser estudiadas desde diferentes puntos de vista. El primer aspecto involucra las condiciones que se deben tener en cuenta dentro de las distribuciones de planta, cuya planificación debe apuntar al aprovechamiento de las zonas climáticas de aquellas regiones que son aptas para cultivo de caña de azúcar, maíz, soja y palma de cera. Igualmente, también se debe tener en cuenta que el territorio sea lo suficientemente bueno para las siembras y evitar caer en el uso indiscriminado de sustancias químicas no autorizadas. El segundo aspecto, se direcciona al uso de materias primas que requieren de escasos niveles de agua y que bajo condiciones de secano pueden disminuir el uso de motobombas que duplican los requerimientos de agua necesarios.

En cada uno de los actores de las cadenas de suministro de los biocombustibles, la localización de las plantas de producción de materia prima y los centros de almacenamiento requieren de una intervención que determine los sectores pertenecientes al área agrícola e industrial; asimismo, demandan la manera de cómo cada uno de estos actores del esquema pueden ser simplificados, para hacer que las limitaciones y diferencias, con respecto a las cadenas de suministro de países de gran magnitud, sean mínimas y acordes con la cantidad de biodiésel que se demande a futuro.

La herramienta de debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas (DOFA) permitió analizar que, es necesario establecer la capacidad real del territorio para la producción de biocombustibles, limitando las zonas para no generar una expansión indiscriminada que genere una grave afectación en el recurso del suelo y de las condiciones ambientales que se relacionan con esta. Desde el punto de vista ambiental, se pueden implementar sistemas de logística de producción que logren gestionar y hacer una organización de los procesos de almacenamiento de

materias primas (caña de azúcar y maíz), para que las siembras que se realicen estén acorde a los pronósticos de demanda; con el fin de evitar incurrir en problemas más graves de seguridad alimentaria en las poblaciones rurales de los departamentos pioneros en la producción de biocombustibles. Esto también debe observarse como la oportunidad de desplazar cultivos cocaleros y aprovechar los recursos de suelos en plantaciones que aporten en el desarrollo nacional.

La principal oportunidad en el uso de biocombustibles en Colombia es la participación de la cadena agroindustrial dentro de las exportaciones del país y la generación de empleos. La fortaleza radica en el gran potencial agrícola de los territorios colombianos y la tendencia a tener diversas producciones con diferentes tipos de materias primas en las mismas zonas, gracias a las características climáticas de las regiones. Como principal debilidad se identifica la falta de apoyo gubernamental en políticas que promuevan el uso adecuado de mezclas de los biocombustibles, cuya amenaza asociada es la afectación indirecta de recursos hídricos y de suelos que afecten la biodiversidad de la zona.

En el tema de biocombustibles en Colombia con la herramienta de matriz Vester concluye que, se logró identificar un problema crítico que es la producción de materias primas en función de las condiciones ambientales, la cual tiene fuerte influencia con dos problemas de tipo activo direccionados a la demanda y uso de las mezclas obligatorias en sectores como el transporte. Con esto es posible intervenir a través de la planificación de cadenas productivas orientadas a los agricultores de regiones que legalmente cumplen con las condiciones de normatividad y ejecución de planta, para posteriormente entrar a valorar las problemáticas activas que se direccionan al uso de recursos como suelos, agua, biodiversidad y seguridad alimentaria, puesto que repercuten sobre los problemas indirectos al afectar el precio de los combustibles por sobreproducción de caña de azúcar, maíz, palma de cera o soja. Por último, es importante mencionar los cambios en la asignación de empleos en zonas rurales con la consecuente generación de procesos ineficientes de biocombustibles de baja calidad y que no repercutirán sobre la disminución de gases de efecto invernadero y sus porcentajes.

V. RECOMENDACIONES

Se debe asumir un enfoque preventivo en el diseño de políticas. Si bien es cierto que este enfoque no asegura que los impactos negativos de los cambios indirectos no aparecerán, sí permite reducir la probabilidad de eventos

adversos, ya que supone la capacidad de identificar el nivel correcto de los requisitos de sostenibilidad y de los umbrales críticos de emisiones de GEI.

Actualmente, Colombia tiene una mezcla obligatoria de etanol del 8 % y biodiésel entre 8 y 10 %, esta mezcla dicta en porcentaje que el biodiésel tiene 8 o 10 % de aceite de palma y el restante de gasolina, así también para el etanol. Brasil, país líder en biocombustibles en el mundo, tiene el parque automotor adecuado para recibir una mezcla obligatoria de 100 % etanol, lo que permite divisar el largo trayecto que implica alcanzar esta mezcla.

Lo ideal sería acoger la normativa de mezcla obligatoria de forma estratégica haciendo uso de áreas de cultivo con monitoreo y establecimiento de límites que protejan las diferentes actividades de agricultura, ya que pueden ser desplazadas por la expansión de territorio cultivable de materia prima para biocombustibles.

VI. REFERENCIAS

- [1] P. De-Xing, "Effects of Biofuels (Methanol, Ethanol and Butanol) on Internal Combustion Engine Performance and Exhaust Emissions". *Chemistry & Technology of Fuels & Oils*, vol. 54, n.º 4, 2018, pp 29-36, doi: 10.1007/s10553-018-0894-y.
- [2] FOW: Global Derivates Magazine, "Biofuels: Facing the new environmental challenges", *Business Source Complete*, p.22, 2008. Disponible: <https://www.globalinvestorgroup.com/articles/1973026/biofuels-facing-the-new-environmental-challenges>.
- [3] C. Santiago, J. S. Marques, y M. Martins, "The "Indy way": lessons from brazilian sugar-cane biofuel supply chain", *Journal of Operations and Supply Chain Management*, vol. 10, no. 2, 2017, pp 56-70. doi: 10.12660/joscmv10n2p56-70.
- [4] E. Silva, J. Escobar, J. García, y J. Barrera, "Bioenergía y biorrefinerías para caña de azúcar y palma de aceite", *Revista Palmas*, vol. 37, 2016, pp. 119-136. Disponible: <https://web.fedepalma.org/sites/default/files/files/Fedepalma/semanario-palmero/informacion-interes/bioenergia-biorrefinerias-para-cana-azucar-y-palma-aceite.pdf>.
- [5] M. Barón, I. Huertas, y J. A. Orjuela, "Gestión de la cadena de abastecimiento del biodiésel: una revisión de la literatura", *Ingeniería*, vol. 18, no. 1, 2013, pp 84-117, doi: 10.14483/udistrital.jour.reving.2013.1.a05.

- [6] J. Castro Franco, A. M. Flórez, y M. C. Ochoa, “Análisis de la cadena de suministro de biocombustibles en Colombia”, *Revista Dinámica Sistemas*, vol. 4, no. 2, 2008, pp. 109-133. Disponible: https://www.researchgate.net/publication/263816420_Analisis_de_la_cadena_de_suministro_de_biocombustibles_en_Colombia.
- [7] M. Chris, “Biocombustibles : más leña al fuego”, vol. 1, *Rainforest Foundation Norway*, 2020. Disponible: <https://www.ecologistasenaccion.org/wp-content/uploads/2020/03/informe-biocombustibles-rf.pdf>.
- [8] OCDE-FAO, *OCDE-FAO Perspectivas agrícolas 2019-2028. Enfoque especial: América Latina*, Paris: OCDE Publishing, FAO, 2019. doi: <https://doi.org/10.1787/7b2e8ba3-es>.
- [9] Cedrssa, *La producción y el comercio de los biocombustibles en México y en el mundo*, [En línea], México: Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria-CEDRSSA, 2020. Disponible: http://www.cedrssa.gob.mx/post_la_n-produccionin-n_y_el_n-comercio-n_de_los_n-biocombustibles-n_en_mn-xico_y_el_mundo.htm.
- [10] OCDE-FAO, *OCDE-FAO Perspectivas agrícolas 2017-2026. Enfoque especial: Sudeste asiático*, Paris: Editions OCDE, FAO, 2017. doi: http://dx.doi.org/10.1787/agr_outlook-2017-es.
- [11] IICA, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, *Atlas de la agroenergía y los biocombustibles en las americas*, 1 ed. San José, C.R.: IICA, 2010. Disponible: <http://repiica.iica.int/docs/B0496e/B0496e.pdf>.
- [12] FAO, “Biocombustibles y agricultura: panorama técnico”, *El estado mundial de la agricultura y la alimentación*, Roma: FAO, 2008, pp. 11-25. Disponible: <http://www.fao.org/3/i0100s/i0100s.pdf>.
- [13] FAO. “Mercados de biocombustibles y efectos de las políticas”, *El estado mundial de la agricultura y la alimentación*, Roma: FAO, 2008, pp. 47-62. Disponible: <http://www.fao.org/3/i0100s/i0100s04.pdf>.
- [14] J. Jobe, “Perspectivas del biodiésel en los Estados Unidos de América”, *Revista Palmas*, vol. 1, no. 37, 2016, pp. 99-106. Disponible: <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11892>.
- [15] M. A. Prado, “El caso de la producción de etanol en Brasil: ¿un ejemplo para los países de América Latina?” *Revista Colombiana de Geografía*, vol. 21, no. 1, 2012, pp. 147-161. Disponible: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-215X2012000100011.
- [16] L. P. Koh, y J. Ghazoul, “Spatially explicit scenario analysis for reconciling agricultural expansion, forest protection, and carbon conservation in Indonesia”, *PNAS*, vol. 107, no. 24, 2010, pp. 11140-11144. doi: 10.1073/pnas.1000530107.
- [17] G. Gereffi, y M. Korzeniewicz, “The Organization of Buyer-Driven Global Commodity Chains: How U.S. retailers shape overseas production networks”, *Commodity chains and global capitalism*, 1 ed. Londres: Praeger Publisher, 1994. Disponible: <https://globalvaluechains.org/publication/organization-buyer-driven-global-commodity-chains-how-us-retailers-shape-overseas>.
- [18] M. Palomino, “BlueDiésel, el nuevo combustible ecológico”, *Autocosmos* [En línea]. Disponible: <https://noticias.autocosmos.com.co/2019/05/03/bluediesel-el-nuevo-combustible-ecologico>. [2-Abr-2020].
- [19] D. Sheil, A. Casson, E. Meijaard, M. Van Noordwijk, J. Gaskell, J. Sunderland-Groves, K. Wertz, y M. Kanninen, *The impacts and opportunities of oil palm in Southeast Asia: What do we know and what do we need to know?*, Bogor, Ind: Center for International Forestry Research, 2009. Disponible: https://www.cifor.org/publications/pdf_files/OccPapers/OP-51.pdf.
- [20] J. Rico, “Francia elimina la condición de biodiésel al producido con aceite de palma”, [En línea], *Energías Renovables*. Disponible: <https://www.energias-renovables.com/biocarburantes/francia-elimina-la-condicion-de-biodiesel-al-20190111>. [2-Abr-2020].
- [21] H. Tavares, *Annual biofuels Canada report shows biofuel consumption up*, [En línea]. Disponible: <https://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2018/08/18/annual-biofuels-canada-report-shows-biofuel-consumption-up/>. [2-Abr-2020].
- [22] S. Falasca, *Cultivos energéticos para biocombustibles de 1ª y 2ª generación: la aptitud agroclimática Argentina*, 1 ed. Madrid: Editorial Académica Española, 2012.

- [23] F. Serna, L. Barrera, y H. Montiel, “Impacto social y económico en el uso de biocombustibles”, *Journal of Technology Management & Innovation*, vol. 6, no. 1, 2011, pp. 100-114. doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-27242011000100009>.
- [24] Asocaña, “Sector Agroindustrial de la Caña”, [En línea]. Disponible: <https://www.asocana.org/publico/info.aspx?Cid=215>. [21-Feb-2020].
- [25] Fedebiocombustibles, “Preguntas frecuentes de los biocombustibles: ¿Cuál es la participación de los biocombustibles en la matriz de los combustibles para el transporte en Colombia?”, [En línea]. Disponible: <https://www.fedebiocombustibles.com/nota-web-id-923.htm>. [18-Feb-2020].
- [26] Fedebiocombustibles, “Demanda nacional de alcohol carburante (etanol)”, *Estadísticas* [En línea]. Disponible: [https://www.fedebiocombustibles.com/estadistica-produccion-titulo-Alcohol_Carburante_\(Etanol\).htm](https://www.fedebiocombustibles.com/estadistica-produccion-titulo-Alcohol_Carburante_(Etanol).htm)
- [27] Fedebiocombustibles, “Demanda nacional de biodiésel”, *Estadísticas* [En línea]. Disponible: <https://www.fedebiocombustibles.com/estadistica-produccion-titulo-Biodiesel.htm>
- [28] Fedepalma, *La palma de aceite en Colombia*, [En línea]. Disponible: <http://web.fedepalma.org/la-palma-de-aceite-en-colombia-departamentos>. [4-Feb-2020].
- [29] Y. E. Huang, Y. Fan, C.-W. Chen, “An Integrated Biofuel Supply Chain to Cope with Feedstock Seasonality and Uncertainty”, *Transportation Science*, vol. 48, no. 4, 2014. doi: 10.1287/trsc.2013.0498.
- [30] FAO, “Efectos de los biocombustibles en el medio ambiente”, *El estado mundial de la agricultura y la alimentación*, Roma: FAO, 2008, pp. 63-83. Disponible: <http://www.fao.org/3/i0100s/i0100s.pdf>.
- [31] J. Paruelo, J. P. Guerschman, y S. Verón, “Expansión agrícola y cambios en el uso del suelo”, *Ciencia Hoy*, vol. 15, no. 87, 2005, pp. 14-23. Disponible: https://www.produccion-animal.com.ar/suelos_ganaderos/50-expansion_agricola.pdf.
- [32] A. K. Chandel, B. C. M. Goncalves, J. L. Strap, y S. S. Da Silva, “Biodelignification of lignocellulose substrates: An intrinsic and sustainable pretreatment strategy for clean energy production”, *Critical Reviews in Biotechnology*, vol. 35, no. 3, 2015, pp. 281-293, doi: 10.3109/07388551.2013.841638.
- [33] P. W. Gerbens-Leenes, A. Y. Hoekstra, y Th. H. Van Der Meer, *The water footprint of bio-energy: global water use for bio-ethanol, biodiesel, heat and electricity*. Delft, Netherlands: Unesco-IHE y Institute for Water Education, 2008. Disponible: <http://www.ayhoekstra.nl/pubs/Report34.pdf>.
- [34] C. Castiblanco, y S. Hortua, “El paradigma energético de los biocombustibles y sus implicaciones: panorama mundial y el caso colombiano”. *Gestión y Ambiente*, vol. 15, no. 3, 2012, pp. 5-26. Disponible: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/33718>.
- [35] G. Berndes, “Bioenergy and water: the implications of large-scale bioenergy production for water use and supply”, *Global Environmental Change*, vol. 12, no. 4, 2002, pp. 253-271, doi: 10.1016/S0959-3780(02)00040-7.
- [36] H. Griffiths, *El aceite de palma “sostenible” impulsa la deforestación. Cultivo de agrocombustibles, cultivo de agrocombustibles, el cambio indirecto del uso de la tierra y las emisiones*, Bruselas: Friends of the Earth Europe, 2010. Disponible: <https://www.tierra.org/wp-content/uploads/2016/01/palma-ilucs.pdf>.
- [37] F. Posso, “Energía y ambiente: pasado, presente y futuro. Parte dos: sistema energético basado en energías alternativas”, *Geoenseñanza*, vol. 7, no. 1-2, 2002, pp. 54-73. Disponible: <https://www.redalyc.org/comocitar.oi?id=36070206>.
- [38] S. Chopra, y P. Meindl, *Administración de la cadena de suministro: estrategia, planeación y operación*, 3 ed. México: Pearson Educación, 2008.
- [39] L. Tapia, J. Acevedo, H. Araméndiz, y J. Ararat, “La sostenibilidad en el diseño de cadenas de suministro de biocombustibles”, *Revista Ingenierías*, vol. 14, no. 26, 2015, pp. 57-72. Disponible: <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v14n26/v14n26a05.pdf>.
- [40] A. Infante, y S. Tobón, *Bioenergía para el desarrollo sostenible. Políticas públicas sobre biocombustibles y su relación con la seguridad alimentaria en Colombia*, 1 ed. Roma: FAO, 2010.
- [41] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, *Análisis de Impacto Normativo Norma Nacional de Calidad de Combustibles*, p.47, Bogotá: 2019. Disponible: https://www.minenergia.gov.co/documentos/10192/24104363/Analisis+de+Impacto+Normativo+06062019_MinAmbiente+%28GMR%29_GAU2+%281%29.pdf/f9c3b013-ba0c-48cb-b617-a8b6561bc3a7.



[42] Colombia. Conpes (Consejo Nacional de Política Económica y Social), *Documento Conpes 3943, Política para el mejoramiento de la calidad del aire*, Bogotá, 2018. [31-Jul-2018].

[43] V. Gutiérrez, R. Defries, M. Pinedo-Vásquez, M. Uriarte, C. Padoch, W. Baethgen, K. Fernandes, y Y. Lim, “High-yield oil palm expansion spares land at the expense of forests in the Peruvian Amazon”, *Environmental Research Letters*, vol. 6, no. 4, 2011. doi: <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/6/4/044029>.