

Estudio de factibilidad del
proyecto de mezcla de
gasolina con etanol a nivel
nacional

30 de enero de 2020.

*Realizado por la Dirección de Planificación
RECOPE*

RESUMEN

El proyecto evaluado en el presente estudio tiene como propósito dotar a RECOPE de la infraestructura idónea para la adición de etanol en las gasolinas, a nivel nacional. Este proyecto se adscribe al Programa Nacional de Biocombustibles, el cual persigue el desarrollo de una industria de biocombustibles, que contribuya a la seguridad energética, la eficiencia energética, la mitigación del cambio climático, la reactivación del sector agrícola y el desarrollo socioeconómico nacional (MAG-MINAE, 2008, p. 134). Los biocombustibles, en general, y el etanol, en particular, ofrecen una alternativa viable, en el corto plazo, para la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Si las mezclas se llevan a cabo con gasolina base (tipo RBOB), el proyecto tiene una TIR de 13,09% y un VAN de 6,74 millones de dólares (con una tasa de descuento de 9,83%)¹. Si las mezclas se llevan a cabo a partir de gasolina terminada, el proyecto tiene un VAN de -21,53 millones de dólares (con la misma tasa de descuento). Si las mezclas se llevan a cabo con gasolina base (tipo RBOB), el impacto promedio de largo plazo al consumidor sería un ahorro de 1,10 colones por litro. Si las mezclas se llevan a cabo a partir de gasolina terminada, el impacto promedio de largo plazo al consumidor, sería un aumento de 0,02 colones por litro, lo cual equivale a un efecto neutral al considerarse el margen de error propio de las estimaciones.

El uso de etanol de maíz conlleva una reducción global de emisiones de gases de efecto invernadero de 11% (sustituyendo cada TJ aportado por gasolina por un TJ aportado por etanol). El uso de etanol de caña de azúcar conlleva una reducción global de emisiones de gases de efecto invernadero de 59% (sustituyendo cada TJ aportado por gasolina por un TJ aportado por etanol). Se estima que, una vez que el programa de etanol esté en completa vigencia (en 2022), se podría llegar a evitar unas 235 000 toneladas métricas de CO₂e por año si el etanol es de caña de azúcar, o unas 130 000 toneladas métricas de CO₂e equivalente por año, si es de maíz.

¹ Esta tasa de corte, calculada utilizando el Modelo de Valoración de Activos de Capital (CAPM, por sus siglas en inglés), permite exigir al proyecto un rendimiento competitivo desde una perspectiva privada.

TABLA DE CONTENIDO

Resumen	1
1. Introducción	4
2. Identificación del proyecto y aspectos metodológicos.....	6
2.1 Principales antecedentes internacionales	6
2.2 Principales antecedentes nacionales	8
2.3 Definición del problema	10
2.4 Justificación	12
2.5 Objetivos.....	15
2.5.1 Objetivos del Programa Nacional de Biocombustibles	15
2.5.2 Objetivos del proyecto.....	16
2.6 Metodología del estudio.....	16
3. Generalidades sobre el etanol carburante	18
3.1 Especificaciones del etanol carburante anhidro	21
3.2 Materias primas y procesos para la producción de etanol	23
4. Estudio de mercado.....	25
4.1 Mercado internacional	25
4.2 Mercado internacional del etanol costarricense	36
4.3 Precios	39
5. Estudio técnico	42
5.1 Selección de la alternativa para la mezcla en las terminales	44
5.2 Descripción del proceso de mezcla.....	46
5.3 Evaluación de la capacidad de almacenamiento de etanol	47
5.4 Estimación de la inversión y de los costos operativos	51
6. Estudio financiero.....	53
6.1 Costos operativos	54
6.2 Flujos de caja	55
6.3 Análisis de sensibilidad del VAN.....	57
6.4 Impactos al consumidor.....	59

7. Aspectos ambientales.....	61
7.1 Reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero	61
7.1 Otros impactos ambientales del etanol	64
7.2 Disposición y usos de la vinaza	65
8. Conclusiones.....	67
9. Recomendaciones.....	69
10. Bibliografía.....	70
Anexo A. Consideraciones socioeconómicas.....	77
A.1 Situación actual de la industria nacional de etanol carburante	77
A.2 Identificación de la mejor ruta para que el país produzca etanol carburante	78
A.3 Posible generación de empleo	78
A.4 Referencia	79

1. INTRODUCCIÓN

El proyecto evaluado en el presente estudio tiene como propósito dotar a RECOPE de la infraestructura idónea para la adición de etanol en las gasolinas, a nivel nacional. Este proyecto se adscribe al Programa Nacional de Biocombustibles, el cual persigue el desarrollo de una industria de biocombustibles, que contribuya a la seguridad energética, la eficiencia energética, la mitigación del cambio climático, la reactivación del sector agrícola y el desarrollo socioeconómico nacional (MAG-MINAE, 2008, p. 134).

El desarrollo de una industria de biocombustibles, la reactivación del sector agrícola y los beneficios socioeconómicos que de ello puedan derivarse, sólo serían posibles si el etanol es producido en el país. Sin embargo, en la actualidad RECOPE debe adquirir todos los combustibles (incluyendo el etanol) al menor precio posible con los parámetros de calidad establecidos por la normativa nacional, independientemente del origen de los productos. Esta situación podría cambiar si el gobierno implementa políticas públicas que permitan el establecimiento de requisitos de desempeño ambiental para privilegiar la producción nacional y se adopta un adecuado manejo de los riesgos en las cadenas agroindustriales (que estarían en proceso de consolidación y maduración).

Ejemplos de lo anterior son el establecimiento de contratos de largo plazo (mínimo 10 años) y de fórmulas de precio transparentes que eviten condiciones ruinosas. De esta manera, se le otorgarían ventajas competitivas al etanol nacional y, en consecuencia, se dinamizaría la agroindustria y se evitaría la fuga de divisas al exterior. No obstante, todo esto se encuentra fuera del ámbito de acción de RECOPE y corresponden a políticas públicas que deben establecerse.

Por otra parte, en cualquier caso, siempre se obtiene un beneficio ambiental. Las dos principales materias primas utilizadas a nivel mundial para la producción de bioetanol son el maíz y la caña de azúcar (en Costa Rica, por ejemplo, se obtiene de la caña de azúcar). Ambas materias primas tienen una huella de carbono menor que la gasolina. Esto significa que, durante todo su ciclo de vida, el biocombustible genera una menor cantidad de gases de efecto de invernadero que la gasolina (el análisis de ciclo de vida contempla todas las etapas: desde la siembra de la materia prima hasta el

consumo en los vehículos). El efecto neto en la reducción de gases de efecto invernadero es siempre positivo.

El programa contempla la adición de entre 5% y 10% (volumen/volumen) de etanol en las gasolinas. El porcentaje de mezcla debe ser fijado por el MINAE, como ente rector en materia de ambiente y energía, con base en políticas públicas vigentes, como el Plan Nacional de Desarrollo y el Plan de Descarbonización. Este ministerio tiene la potestad, en todo momento, para modificar el porcentaje de etanol en las gasolinas. Para efectos de evaluar el proyecto de RECOPE, este estudio considera una mezcla al 8% (E8).

Las mezclas de gasolina con etanol se expresan mediante el uso de la letra mayúscula “E” y un número que indica el porcentaje de etanol (volumen/volumen); así, por ejemplo, a una gasolina con 10% de etanol se le llama E10 y a una gasolina con 15% de etanol se le llama E15.

La introducción de la gasolina ECO95 sería en el II semestre de 2020 y la de la gasolina ECO91 en el II semestre de 2021. Ambas gasolinas corresponden a una mezcla entre E5 y E10. Para efectos de este estudio, se asume que ambas gasolinas con etanol estarán en el mercado a partir de 2022. Antes del año 2022 las mezclas se llevarán a cabo utilizando la infraestructura con la que se cuenta actualmente, y posterior a esa fecha, mediante mezclado en línea.

Por lo tanto, el horizonte de evaluación del proyecto (que consiste en dotar a RECOPE de la infraestructura para realizar las mezclas en línea) es de 15 años: 2022 – 2036.

2. IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO Y ASPECTOS METODOLÓGICOS

2.1 Principales antecedentes internacionales

El uso de etanol como carburante tiene una larga historia. En 1908, Henry Ford diseñó su famoso modelo T para operar con una mezcla de gasolina con etanol (EIA, 2018). Desde entonces, este biocombustible ha sido considerado como una alternativa a la gasolina, particularmente en aquellos momentos en los cuales los precios de los derivados del petróleo han sido altos como, por ejemplo, las crisis petroleras de 1973 y 1979.

Además de ayudar a contrarrestar las alzas en los precios de los combustibles en determinados periodos, la producción de etanol ha propiciado mitigaciones de gases de efecto invernadero (GEI), mayor seguridad energética y fortalecimiento de la economía de algunos países. Tal es el caso de Brasil.

A raíz de las mencionadas crisis del petróleo de la década de 1970, el gobierno de Brasil inició el programa *Proálcool*, con el fin de producir etanol, a partir de caña azúcar, para ser usado como sustituto de la gasolina. El programa constaba de tres ejes: i) garantía de compra a los agricultores, ii) préstamos de bajo interés para la siembra de materia prima, iii) regulación de los precios del etanol (Biofuel.org.uk, 2010). Actualmente, Brasil es el segundo productor de etanol carburante en el mundo (después de Estados Unidos), con una producción de 30 millones de metros cúbicos en 2018 (RFA, 2019).

Por otra parte, en 2005, Estados Unidos creó el programa *Renewable Fuel Standard* (RFS)², en el cual se establecen metas anuales de sustitución de derivados del petróleo por combustibles renovables³, con el propósito de reducir las emisiones de GEI.

² Este programa fue creado bajo la ley *Energy Policy Act* (EPAct), la cual a su vez es una enmienda de *Clean Air Act* (CAA) (EPA, 2017b).

³ RFS establecía metas incrementales de sustitución, hasta alcanzar 28 millones de metros cúbicos (7,5 billones de galones) en 2012 (Congreso de los Estados Unidos, 2005).

El programa RFS fue expandido dos años después (RFS2)⁴, para fijar una meta de 136 millones de metros cúbicos (36 billones de galones⁵) en 2022, entre otros cambios. El RFS2 no termina en 2022, sino que antes de esa fecha se deben definir nuevas metas para los años siguientes (RFA, 2019).

Para cada categoría de combustible renovable contemplado por RFS2 debe demostrarse una cierta reducción en las emisiones de GEI: 20% para los biocombustibles convencionales, 50% para los avanzados y el diésel basado en biomasa y 60% para los biocombustibles celulósicos (U.S. Department of Energy, s.f.). El etanol puede ser un biocombustible convencional o celulósico, según se obtenga de materias primas convencionales (p. ej., maíz) o de celulosa (p. ej., madera).

En el cuadro 2.1 se muestran los volúmenes de sustitución de combustibles fósiles por combustibles renovables definidos en el *Energy Independence and Security Act* (EISA), en 2007, para cada una de las categorías de combustibles renovables de RFS2.

Cuadro 2.1 Volúmenes de sustitución de combustibles fósiles por combustibles renovables definidos en EISA (millones de metros cúbicos), en EE.UU

Año	Biocombustible celulósico	Diésel basado en biomasa ⁶	Biocombustible convencional	Biocombustible avanzado	Total de combustible renovable
2009	NA	1,89	39,75	2,27	42,02
2010	0,38	2,46	45,42	3,60	49,02
2011	0,95	3,03	47,70	5,11	52,81
2012	1,89	3,79	49,97	7,57	57,54
2013	3,79	3,79	52,24	10,41	62,65
2014	6,62	3,79	54,51	14,20	68,71
2015	11,36	3,79	56,78	20,82	77,60
2016	16,09	3,79	56,78	27,44	84,23

⁴ La expansión del programa se llevó a cabo mediante el *Energy Independence and Security Act* (EISA), que también es una enmienda a la ley federal *Clean Air Act* (CAA) (EPA, 2017b).

⁵ En el presente estudio, un billón de galones debe entenderse como mil millones de galones (billón en inglés) y no como un millón de millones de galones (billón en español). Esto se debe a que la producción y el consumo de etanol suelen reportarse utilizando el billón inglés. Por otra parte, cuando los datos se expresan en unidades del Sistema Internacional (S.I.) se evita el uso del billón para no generar confusiones; por ejemplo, en unidades S.I., la producción mundial de etanol se reporta en millones de metros cúbicos.

⁶ A partir de 2012 se requiere un aporte anual de 1 billón de galones (3,79 millones de metros cúbicos) de diésel basado en biomasa; sin embargo, la Environmental Protection Agency (EPA) puede aumentar este requerimiento.

Año	Biocombustible celulósico	Diésel basado en biomasa ⁶	Biocombustible convencional	Biocombustible avanzado	Total de combustible renovable
2017	20,82	3,79	56,78	34,07	90,85
2018	26,50	3,79	56,78	41,64	98,42
2019	32,18	3,79	56,78	49,21	105,99
2020	39,75	3,79	56,78	56,78	113,56
2021	51,10	3,79	56,78	68,14	124,92
2022	60,57	3,79	56,78	79,49	136,27

Fuente: elaboración propia con datos de EPA (2017b).

En 2018, el consumo de etanol en Estados Unidos fue de 54,44 millones de metros cúbicos (14,38 billones de galones) (EIA, 2019b), lo cual representa un 96% de la meta de biocombustible convencional y un aporte de 55% del requerimiento total de RFS para ese año.

En otras partes del mundo, la adición de etanol a las gasolinas también es una práctica común. Más de 64 países tienen programas activos para promover el uso de etanol como combustible (Bioenergy Australia, 2016).

2.2 Principales antecedentes nacionales

Entre abril de 1981 y noviembre de 1982 se vendieron mezclas de gasolina con etanol en 33 estaciones de servicio de San José, como una medida para contrarrestar las alzas en los precios de las gasolinas, en el contexto de la segunda crisis del petróleo (MAG-MINAE, 2008, p. 15). De acuerdo con el Programa Nacional de Biocombustibles, las ventas de gasolina con etanol se detuvieron por diversas razones, entre las que se citan: falta de información correcta al consumidor, limitaciones en la infraestructura de distribución disponible, cobertura del proyecto y problemas en el manejo del producto (MAG-MINAE, 2008, p. 15-16). De acuerdo con Mata Segreda (2018), la iniciativa se canceló luego de la normalización del mercado internacional del petróleo. Dado que las mezclas se habían iniciado con el propósito de contrarrestar los altos precios de las gasolinas, una vez que estos volvieron a la normalidad ya no se tuvo interés por continuar.

En 2005, RECOPE realizó una prueba en 30 vehículos de la empresa, utilizando una mezcla con 10% de etanol. No se presentaron daños en los motores ni desmejoras en el rendimiento o las emisiones de los vehículos (MAG-MINAE, 2008, p. 16-17).

El año siguiente, se inició el plan piloto de mezcla de gasolina plus 91 con etanol, en la terminal Barranca. Este plan fue exitoso, dado que se demostró que la adición de etanol a la gasolina no afecta significativamente el desempeño ni la integridad de los vehículos. No obstante, es necesario que se le dé un mantenimiento oportuno a los automóviles que utilizan la mezcla. El plan piloto se dio por concluido, a raíz del cierre de la refinería en 2011, debido a la limitación en las operaciones de mezclado de RECOPE. Las nuevas especificaciones para las gasolinas (INTE E1:2016), publicadas en 2016, vinieron a solventar dichas limitaciones y a posibilitar nuevamente la implementación de gasolina con etanol a nivel nacional⁷. Esta norma fue sometida a una consulta ante la OMC para garantizar que no se diera una afectación a los otros países centroamericanos. Actualmente, está pendiente la firma del decreto que establezca su obligatoriedad.

El proyecto de mezclas de gasolinas con etanol se enmarca dentro del Programa Nacional de Biocombustibles, elaborado por MAG y MINAE en 2008. Dicho programa contempla el análisis del contexto energético internacional y nacional, uso de suelos en el país, infraestructura disponible para la producción de biocombustibles, políticas de desarrollo y estrategias de implementación, entre otros aspectos. En los casos que lo ameritan, y restringiéndose a las mezclas de gasolina con etanol, en el presente estudio se actualizan algunos aspectos del Programa Nacional de Biocombustibles, debido a la necesidad de contar con datos recientes.

En 2014, la Dirección de Planificación de RECOPE elaboró el estudio de prefactibilidad para el proyecto de mezclas de gasolina con etanol. Durante los dos siguientes años, la Gerencia de Desarrollo llevó a cabo el diseño detallado de la infraestructura necesaria. El presente documento es una actualización y ampliación del realizado en 2014 y toma como insumo el diseño indicado.

⁷ Además, en 2017 se publicó INTE E5:2017, que contiene las especificaciones para el etanol carburante.

En noviembre de 2016, se decretó el nuevo Reglamento de Biocombustibles Líquidos y sus Mezclas (Decreto ejecutivo N° 40050-MINAE-MAG)⁸, en el cual se declaran de interés público “*las actividades relacionadas con la producción de biocombustibles y el Programa Nacional de Biocombustibles*” (artículo 3). Dentro de las funciones asignadas a RECOPE se encuentran la ejecución de las tareas, actividades e inversiones necesarias para llevar a cabo las mezclas de combustibles fósiles con biocombustibles (artículo 10).

Algunos de los aspectos desarrollados por el Programa Nacional de Biocombustibles fueron revisados en la Estrategia Nacional de Bioenergía y su Plan de Acción; documento elaborado por el MINAE, en 2017. Además, se identificaron once cadenas bioenergéticas con potencial para la producción y uso en Costa Rica; de las cuales la incorporación a las gasolinas con 10% de etanol elaborado con caña de azúcar es una de las dos con muy alta prioridad (MINAE, 2017, p. 6).

En 2019, se elaboró una adenda al estudio de prefactibilidad de 2014, con el fin de actualizar la información del documento anterior y ampliar otros aspectos relevantes. Esta adenda es el punto de inicio del presente estudio.

2.3 Definición del problema

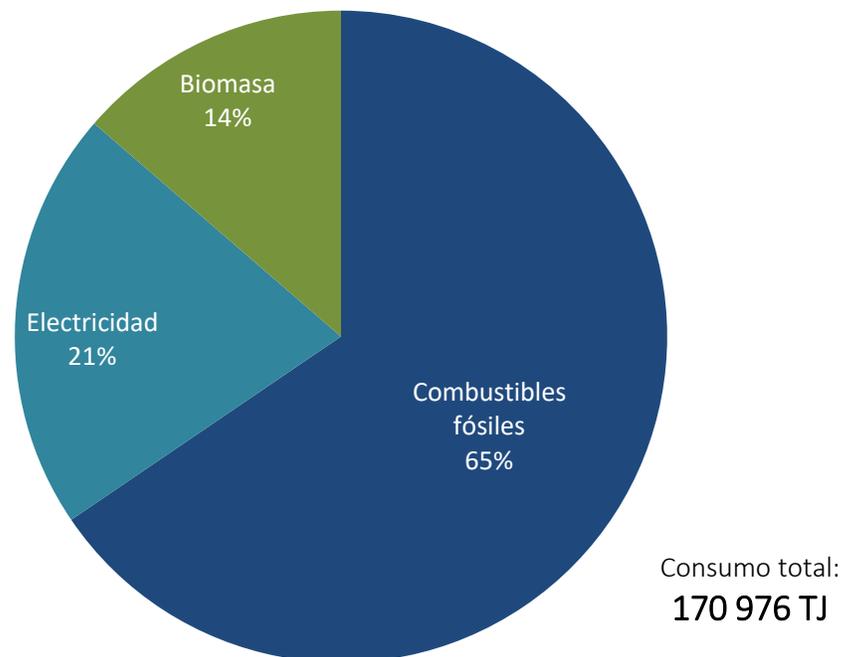
El cambio climático es una de las más graves problemáticas que enfrenta la humanidad. Sus efectos ya son observables y se espera que en las próximas décadas se intensifiquen. Algunas de las consecuencias negativas que ya experimenta el planeta son el derretimiento de los casquetes polares (que, a la vez, acelera la elevación del nivel del mar), la reducción de los glaciares, la intensificación de las olas de calor y la migración de algunas especies. Si no se hace nada al respecto, o si se adoptan medidas insuficientes para solventar el problema, se esperan mayores efectos adversos, entre los que se incluyen sequías más largas y tormentas tropicales más frecuentes (NASA, 2019).

⁸ Con este decreto se deroga el anterior Reglamento de Biocombustibles (Decreto ejecutivo N° 35091-MAG-MINAE) del 9 de enero de 2009.

La comunidad científica atribuye el cambio climático a la emisión de gases de efecto invernadero (GEI)⁹ asociada a las actividades humanas. Las altas concentraciones de estos gases en la atmósfera hacen que una mayor cantidad de radiación solar sea retenida en la tierra, lo que ocasiona un aumento en la temperatura del planeta. Desde 1880 (alrededor del inicio de la segunda revolución industrial) a la fecha, la temperatura global ha aumentado 1,9 °C (NASA, 2019).

El consumo de combustibles fósiles es uno de los factores que contribuye al incremento de la concentración de GEI en la atmósfera. En Costa Rica, este tipo de combustibles representan el 65% de la matriz energética total¹⁰ (ver figura 2.1).

Figura 2.1 Desglose del consumo energético de Costa Rica, en 2017¹¹



Fuente: Elaboración propia con datos de SEPSE (2018).

⁹ Estos gases incluyen el CO₂, CH₄, N₂O, el vapor de agua, entre otros.

¹⁰ Es necesario señalar que, si bien alrededor del 98% de la electricidad costarricense se obtiene a partir de fuentes renovables, esta representa solamente un 21% de la matriz energética total (SEPSE, 2018).

¹¹ La categoría "Combustibles fósiles" incluye gasolinas, diésel, LPG, jet A-1, queroseno, av. gas, fuel oil, gasóleo, coque y carbón mineral. "Biomasa" incluye residuos vegetales, leña, carbón vegetal y biogás. Por otra parte, la electricidad se produce a partir de plantas hidroeléctricas, geotérmicas, eólicas, solares, biomásicas y termoeléctricas.

El 80% de los combustibles fósiles que se consumen en Costa Rica corresponden al sector transporte (SEPSE, 2018). Este sector es responsable de más del 40% de las emisiones de GEI (MINAE-IMN, 2012, pp. 23,51).

Por lo tanto, resulta de vital importancia adoptar medidas que permitan mitigar las emisiones asociadas al transporte. Es aquí donde los biocombustibles, en general, y el etanol, en particular, ofrecen una alternativa viable, en el corto plazo, por medio de su mezcla con combustibles fósiles.

Además, en el caso de que mediante políticas públicas se incentive la producción y uso etanol nacional, el programa puede contribuir a crear nuevos puestos de trabajo y dar solución a otras problemáticas económicas y sociales, mediante el fortalecimiento de la agroindustria costarricense. La reducción del desempleo, en la zona rural, es uno de los desafíos más importantes que debe hacer frente el país. De acuerdo con la Encuesta Continua de Empleo del INEC, en el tercer trimestre de 2019 el desempleo nacional asciende a 11,4% (INEC, 2019).

2.4 Justificación

El artículo 50 de la Constitución Política de Costa Rica, establece el derecho a un ambiente sano y ecológicamente equilibrado:

El Estado procurará el mayor bienestar a todos los habitantes del país, organizando y estimulando la producción y el más adecuado reparto de la riqueza. Toda persona tiene derecho a un ambiente sano y ecológicamente equilibrado. Por ello, está legitimada para denunciar los actos que infrinjan ese derecho y para reclamar la reparación del daño causado. El Estado garantizará, defenderá y preservará ese derecho. La ley determinará las responsabilidades y las sanciones correspondientes (Constitución Política de la República de Costa Rica, 1949, artículo 50).

La responsabilidad de garantizar, defender y preservar el derecho a un ambiente sano y ecológicamente equilibrado recae sobre el Estado. Para ello, el presente gobierno y los que le precedieron han formulado planes y directrices en materia ambiental. Estas incluyen la

diversificación de la matriz energética, por medio del uso de biocombustibles y otras fuentes de energía menos contaminantes que los combustibles fósiles. Algunas de estas directrices son:

Plan Nacional de Desarrollo 2011 – 2014: Se define una meta de 5% de sustitución de combustibles fósiles.

MINAET pretende incentivar la utilización de gas y biocombustibles, así como impulsar el transporte eléctrico, con el objetivo de sustituir en 5% el combustible fósil en la flota vehicular y transporte público esto como parte del trabajo en conjunto con el MOPT. Acciones en esta dirección contemplan la implementación del Programa Nacional de Biocombustibles, la promoción de incentivos económicos y fiscales para impulsar la mejora del parque vehicular y el apoyo de la electrificación del transporte público, objetivos que requieren de un fuerte apoyo de la sociedad civil, de la empresa privada y de otras instituciones del Estado (MIDEPLAN, 2010, p. 121).

Plan Nacional de Desarrollo 2015 – 2018: Se define una meta de 5% de etanol en la gasolina súper, a nivel nacional, en 2018 (MIDEPLAN, 2014, p. 492).

Plan Nacional de Desarrollo 2019 – 2022: Se definen porcentajes de adición de etanol en las gasolinas, por año: 2,5% en 2019, 5% en 2020, 5% en 2021 y 8% en 2022.

VII Plan Nacional de Energía 2015 – 2030: En este plan se establece la necesidad de promover el uso de combustibles alternativos en el sistema de transporte:

[...] promover sistemas eficientes de transporte colectivo que sean ambientalmente más limpios y mitiguen los efectos del calentamiento global; promover el uso de combustibles alternativos en el sistema de transporte para disminuir la dependencia de los hidrocarburos y la emisión de gases contaminantes [...] (MINAE, 2015, p. 7).

Plan de Acción de la Estrategia Nacional Cambio Climático (ENCC): Esta estrategia tiene como objetivo general lo siguiente:

Reducir los impactos sociales, ambientales, y económicos del CC y tomar ventaja de las oportunidades, promoviendo el desarrollo sostenible mediante el crecimiento económico, el progreso social y la protección ambiental por medio de iniciativas de mitigación y acciones de adaptación para que CR mejore la calidad de vida de sus habitantes y de sus ecosistemas, al dirigirse hacia una economía baja en emisiones de carbono y competitiva para el 2021 [...] (MINAE, s.f., p.13).

Plan Nacional de Descarbonización 2018 – 2050: Se establece la incorporación de entre 5% y 10% de etanol, en ambas gasolinas.

El programa de adición de etanol en las gasolinas contribuiría a la meta trazada por el país, de llegar a ser una economía descarbonizada:

[...] ser la primera economía descarbonizada del mundo al año 2050; para ello se requiere disminuir paulatinamente hasta eliminar, el consumo de combustibles fósiles e incursionar aún más en un sistema cuya generación de energías renovables sea sostenible y autosuficiente y que contribuya a mitigar el impacto que generan las actividades económicas en el medio ambiente, razón por la cual, el multilateralismo es fundamental en este proceso para cumplir con acuerdos internacionales como el Acuerdo de París y la Agenda 2030 a favor de los Objetivos de Desarrollo Sostenible [...] (MIDEPLAN, 2018, p. 78).

El programa también contribuiría al cumplimiento de los acuerdos internacionales en materia ambiental, a los cuales Costa Rica se ha adherido; por ejemplo:

- Acuerdo 2030, estipulado dentro del Protocolo de Kioto, (Objetivos de Desarrollo Sostenible): El objetivo número siete se enfoca en el uso de energías más eficientes y menos contaminantes, que permitan mejoras en el medio ambiente, en la calidad del aire y de las aguas, en la salud humana, etc.

- Acuerdo de París – Conferencia Marco sobre Cambio Climático (sobre medioambiente, COP21): El principal objetivo de este acuerdo es la mitigación de los gases de efecto invernadero, para evitar un calentamiento global superior a 2 °C.

2.5 Objetivos

2.5.1 Objetivos del Programa Nacional de Biocombustibles

El proyecto de mezclas de gasolinas con etanol, en las terminales de RECOPE, a nivel nacional, se enmarca dentro del Programa Nacional de Biocombustibles (MAG-MINAE, 2008) y su actualización¹². El objetivo general de dicho programa es el siguiente:

Desarrollar una industria de biocombustibles que contribuya a la seguridad y eficiencia energética, la mitigación del cambio climático, la reactivación del sector agrícola y el desarrollo socioeconómico nacional (MAG-MINAE, 2008, p. 134).

Los objetivos específicos del programa son:

- Sustituir en forma progresiva los combustibles fósiles importados, por otras fuentes de energía renovable de origen nacional.
- Propiciar el desarrollo social en zonas de alta vulnerabilidad a partir del desarrollo del sector biocombustibles.
- Reactivar el sector agrícola a partir de cultivos de productos agroenergéticos para uso de combustibles.
- Desarrollar una industria de biocombustibles, competitiva y eficiente.
- Contribuir a la disminución de gases de efecto invernadero como acción de mitigación del cambio climático (MAG-MINAE, 2008, p. 134).

¹² La Estrategia Nacional de Bioenergía y su Plan de Acción (2017), actualizó ciertos aspectos del Programa Nacional de Biocombustibles.

2.5.2 Objetivos del proyecto

El objetivo general del proyecto de RECOPE es el siguiente:

- Ofrecer mezclas de gasolina con etanol en cada una de las terminales de la empresa.

Los objetivos específicos del proyecto son los siguientes:

- Construir la infraestructura necesaria para recibir, almacenar y mezclar etanol con las gasolinas, en las terminales de RECOPE.
- Realizar las mezclas de gasolina con etanol, en las terminales de RECOPE, por medio de las mejores prácticas operativas.

2.6 Metodología del estudio

Se plantean dos escenarios a evaluar, que se comparan incrementalmente contra el caso actual, que consiste en el abastecimiento de gasolinas como lo ha hecho RECOPE ordinariamente. Estos escenarios son:

- 1. Realizar las mezclas con gasolinas base, como por ejemplo un RBOB (*reformulated base oxygenate blendstock*).**

Las gasolinas base se formulan para aprovechar el alto octanaje del etanol. Estas alcanzan el octanaje requerido una vez que se les adiciona cierta cantidad de etanol. Estas bases suelen tener un precio menor que el de las gasolinas terminadas; sin embargo, en ciertos momentos, debido a las fluctuaciones del mercado, podrían llegar a tener un precio mayor.

- 2. Realizar las mezclas con las mismas gasolinas que se comercializan actualmente en el país (gasolinas terminadas).**

Este segundo escenario permite una mayor flexibilidad operativa al mezclado pero implica que se comercialicen gasolinas con octanajes superiores a los exigidos por las normas, lo cual tiene un costo (cada octano adicional tiene un costo asociado de 4 colones por litro, o 1 dólar por barril, aproximadamente).

La mayor parte de la información que se requiere para la elaboración de este estudio se obtiene de fuentes bibliográficas, tales como libros, artículos de revistas especializadas y sitios web. Otros datos provienen de información de la que dispone la empresa, ya sea de elaboración propia, obtenida en congresos internacionales o de las bases de datos a las que se tiene acceso.

3. GENERALIDADES SOBRE EL ETANOL CARBURANTE

El etanol es un compuesto líquido a temperatura ambiente, claro, transparente y con olor ligero. Es inflamable y puede causar irritación de los ojos y del tracto respiratorio, entre otros efectos adversos para la salud humana.

En el cuadro 3.1 se resumen algunas de las propiedades fisicoquímicas del etanol.

Cuadro 3.1 Principales propiedades fisicoquímicas del etanol

Propiedad	Valor
Formula química	C_2H_5OH
Masa molar	46,04 g/mol
Gravedad específica (a 20°C)	0,790
Viscosidad (a 20°C)	1,200 cP
Presión de vapor (a 20°C)	59,3 mm Hg (7,9 kPa)
Punto de ebullición	78 °C
Punto de fusión	-114,1 °C
Punto de inflamabilidad	16,6 °C

Fuente: Fisher Scientific (2003).

El etanol se puede utilizar como combustible (etanol carburante), desinfectante, solvente, en la elaboración de bebidas alcohólicas, medicamentos, cosméticos, entre otros usos.

Existen múltiples razones por las cuales se adiciona etanol a las gasolinas, de acuerdo con los objetivos que se planteen: a) como mejorador de octanaje, b) como oxigenante sustituto del

MTBE¹³, c) como sustituto renovable de los combustibles fósiles, d) para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, entre otras. El etanol carburante que se mezcla con gasolina debe ser anhidro, esto es, no debe tener más de 0,7% de agua (RTCA 75.02.46:07).

Uno de los aspectos que ha despertado dudas en relación con las mezclas de gasolina con etanol es su estabilidad. A diferencia de la gasolina, el etanol tiene una afinidad por el agua, debido a que es un compuesto polar. Por esa razón, cuando las mezclas de gasolina con etanol entran en contacto con una cantidad suficiente de agua se pueden separar en dos fases: una acuosa con alto contenido de etanol y otra de hidrocarburos. A mayores porcentajes de etanol y más altas temperaturas, mayor es la tolerancia de la mezcla al agua.

Sin embargo, en la práctica es difícil que se llegue a dar una separación de fases. Una mezcla E10, a una temperatura ambiente de 15 °C (60 °F), tolera hasta 0,5% v/v de agua, antes de separarse (API, 2010). Tomando como ejemplo un tanque de combustible de un vehículo con una capacidad de 65 litros (y asumiendo que está lleno) se requerirían 325 ml de agua en el tanque para que se separen las fases, si la temperatura es 15 °C. A temperaturas más altas, se requiere una cantidad aún mayor de agua para que se presente una separación.

La separación de fases por presencia de agua se puede evitar fácilmente si siguen buenas prácticas operativas durante el manejo y almacenamiento de las mezclas; por ejemplo, dar un mantenimiento adecuado a los tanques de las estaciones de servicio.

Otro aspecto que ha generado dudas es el menor contenido de energía del etanol con respecto a la gasolina y su efecto en el consumo de combustible; por ejemplo, una mezcla E10 tiene un poder calórico 3% menor que la gasolina pura, lo que aumentaría su consumo en ese porcentaje.

¹³ El MTBE (metil tert-butil éter) es muy soluble en agua y migra a través del subsuelo con mayor rapidez que otros componentes de la gasolina. Por estas razones, contamina los mantos acuíferos más fácilmente. Además, es más resistente a la biodegradación y más costoso de remover (EPA, 2016).

Se ha discutido la posibilidad de que el MTBE sea cancerígeno, sin embargo, aún no se tienen resultados concluyentes. Existen estudios en los cuales las ratas ha desarrollado cáncer al ser expuestas al MTBE, pero no es posible asegurar que esto también sea aplicable a los seres humanos (Agency for Toxic Substances & Disease Registry, 2015).

Sin embargo, es importante destacar que el rendimiento de los motores de combustión interna a gasolina (ciclo termodinámico Otto) depende de otros factores, algunos de los cuales favorecen al etanol, como por ejemplo: mayor octanaje, mayor contenido de oxígeno, menor contenido de carbono y mayor densidad, entre otros (CONAWE, 2013).

Es importante indicar que tanto los modelos teóricos simples, e incluso los más complejos, aún presentan limitaciones para modelar el efecto resultante en el consumo. Por eso se recurre a las pruebas en bancos de motores.

Al respecto, en un estudio realizado por la Universidad de Ciencia y Tecnología de Hanoi en Vietnam (país tropical con condiciones similares a Costa Rica), se encontró que al adicionar 10% de etanol a la gasolina, el consumo de combustible se reduce en 1,80% si el automóvil es carburado y en un 0,80% si es de inyección de combustible (Truyen et al, 2012).

Por otra parte, la evidencia recolectada hasta el momento, en las pruebas en marcha que se realizan en los vehículos de RECOPE, que se espera concluyan al término del primer semestre de 2020, sugieren que no hay diferencia estadísticamente representativa en el consumo de gasolinas con y sin etanol. Estos resultados serán publicados oportunamente.

Adicionalmente, las prácticas de manejo, la topografía, las condiciones climáticas, el mantenimiento del vehículo, la presión de las llantas son factores adicionales que también pueden aumentar o disminuir el consumo de combustible. Por ejemplo, las prácticas de conducción ineficientes (acelerar y frenar frecuentemente, paradas constantes, conducir a muy bajas o a altas velocidades) pueden aumentar el consumo entre un 10% y un 40%; el uso excesivo de aire acondicionado puede representar un aumento de más de un 25%; la falta de mantenimiento rutinario puede implicar hasta un 4% de aumento de consumo. Finalmente, causas graves por falta de mantenimiento (sensor de oxígeno defectuoso) puede significar hasta un 40% de aumento en el consumo de combustible (*U.S. Department of Energy & EPA, 2020*).

Tal y como se observa, el efecto del uso o no del etanol en las gasolinas es una cifra marginal de poco impacto comparado con otros factores que afectan el consumo de combustible.

3.1 Especificaciones del etanol carburante anhidro

El artículo 10 del “Reglamento de Biocombustibles líquidos y sus mezclas” establece que “RECOPE deberá adquirir los biocombustibles que cumplan con los Reglamentos Técnicos Centroamericanos RTCA 75.02.46:07 (Etanol carburante anhidro y etanol carburante anhidro desnaturalizado y sus mezclas con gasolina) y RTCA 75.02.43:07 (Biodiésel (B-100) y sus mezclas con aceite combustible diésel) o los reglamentos técnicos nacionales que apliquen”. Las especificaciones del RTCA 75.02.46:07 están basadas en la norma ASTM D 4806-04a (*Standard Specification for Denatured Fuel Ethanol for Blending with Gasolines for Use as Automotive Spark-Ignition Engine Fuel*). En los cuadros 3.2 y 3.3 se muestran las especificaciones contenidas en el Reglamento Técnico Centroamericano para el etanol carburante anhidro y el etanol carburante anhidro desnaturalizado, respectivamente.

Cuadro 3.2 Especificaciones de calidad para etanol carburante anhidro

Característica	Unidades	Métodos	Valores
Apariencia	N/A	ASTM D-4176 Procedimiento A	Libre de partículas suspendidas y precipitadas. (Claro y brillante)
Acidez total (expresada como ácido acético)	mg/L	ASTM D-1613	30 máximo.
Color	N/A	Visual.	Incoloro
Contenido alcohólico	INPM	NBR 5992 ó ASTM D-5501	99,3 mínimo.
	fracción de volumen (% volumen)		0,996 (99,6) mínimo.
Contenido de metanol	fracción de volumen (% volumen)	ASTM D-5501	0,005 (0,5) máximo.
Conductividad eléctrica	$\mu\text{S/m}$	ASTM D-1125	500 máximos.

Característica	Unidades	Métodos	Valores
Contenido de cobre	mg/kg	ASTM D-1688 Método A	0,07 máximo.
Ion cloruro	mg/kg	ASTM D-512 Método C	1,1 máximo.
Densidad a temperatura de referencia en °C	kg/m ³	ASTM D-891 Procedimiento B	Reportar

Fuente: RTCA 75.02.46:07: Biocombustibles. Etanol carburante, anhidro y etanol carburante anhidro desnaturalizado y sus mezclas con gasolina.

Cuadro 3.3 Especificaciones de calidad para etanol carburante anhidro desnaturalizado

Característica	Unidades	Métodos	Valores
Apariencia	N/A	D-4176 Procedimiento A	Libre de partículas suspendidas y precipitadas. (Claro y brillante)
Acidez Total (como ácido acético)	mg/L	D-1613	56 máximo.
Contenido de agua	fracción de volumen (% volumen)	E-203 ó E-1064	0,007 (0,7) máximo.
Contenido de azufre total	mg/kg	D-2622	30 máximo.
Contenido de etanol	fracción de volumen (% volumen)	D-5501	0,958 (95,8) mínimo.
Contenido de metanol	fracción de volumen (% volumen)	D-5501	0,005 (0,5) máximo.
Contenido hidrocarburos	fracción de volumen (% volumen)	D-6729	0,02 (2,0) a 0,03 (3,0)
Contenido goma lavada	mg/100 ml	D-381	5,0 máximo.

Característica	Unidades	Métodos	Valores
Contenido de cobre	mg/kg	D-1688 Método A	0,07 máximo.
Ion cloruro	mg/kg	D-512 Método C	1,1 máximo.
Densidad a temperatura de referencia °C	kg/m ³	D-891 Procedimiento B	Reportar
pH	N/A	D-6423	6,5 - 9,0.

Fuente: RTCA 75.02.46:07: Biocombustibles. Etanol carburante, anhidro y etanol carburante anhidro desnaturalizado y sus mezclas con gasolina.

En la sección 6.3 del Reglamento Técnico Centroamericano referente al etanol (RTCA 75.02.46:07), se establece que “el producto de la relación de mezcla de hasta un 0,10 de fracción volumen (10% volumen) de etanol carburante anhidro con gasolina, debe cumplir con las especificaciones del RTCA correspondiente a la gasolina regular o gasolina súper”. Dado que el programa de mezclas contempla la adición de entre 5% y 10% de etanol en las gasolinas, estas mezclas deben cumplir con los RTCA correspondientes a las gasolinas, los cuales son: RTCA 75.01.20:04, para la gasolina súper y RTCA 75.01.19:06, para la gasolina regular (o gasolina plus 91, en el caso de Costa Rica).

De acuerdo con los RTCA para gasolinas, la presión de vapor Reid (a 37,8 °C) no debe ser superior a 69 kPa (10 psi). Este representaría una dificultad para llevar a cabo las mezclas, debido a que al adicionar etanol en las gasolinas se produce un ligero incremento en la presión de vapor. Por esa razón, la nueva norma INTE E1:16 (véase sección 2.2), eleva el límite superior de la presión de vapor Reid (a 37,8 °C) hasta 76 kPa (11 psi), cuando la gasolina contiene etanol.

3.2 Materias primas y procesos para la producción de etanol

Se le llama bioetanol a aquel etanol que se obtiene a partir de biomasa y que, por lo tanto, es renovable. A nivel mundial, el etanol que se utiliza como combustible suele ser bioetanol, que se

obtiene de la fermentación de los azúcares presentes en distintos tipos de biomasa. Por lo tanto, en este estudio se utilizan indistintamente los términos “etanol y bioetanol”.

La materia prima para producir etanol puede ser de varios tipos: a) rica en azúcares (p. ej. caña de azúcar y remolacha azucarera), b) amilácea (p. ej. maíz, papa y yuca) o c) celulósica (p. ej. madera, papel y mazorcas de maíz). Estados Unidos y Brasil producen el 84% del etanol que se consume en el mundo, casi exclusivamente a partir maíz el primero y de caña de azúcar el segundo. Además, la producción costarricense de etanol se basa también en la caña de azúcar. Por estas razones, este estudio se enfoca en estas dos materias primas.

En términos generales, la producción de etanol consiste en cuatro etapas. En la primera, se exprime, tritura o muele la materia orgánica para liberar los azúcares o el almidón, según sea el caso. En la segunda se descomponen los azúcares o el almidón en compuestos más simples (esta etapa varía según el tipo de biomasa y puede incluir acción enzimática, hidrólisis ácida, entre otros procesos, para descomponer los azúcares o el almidón en compuestos más simples). Las últimas dos etapas consisten en la fermentación y la destilación.

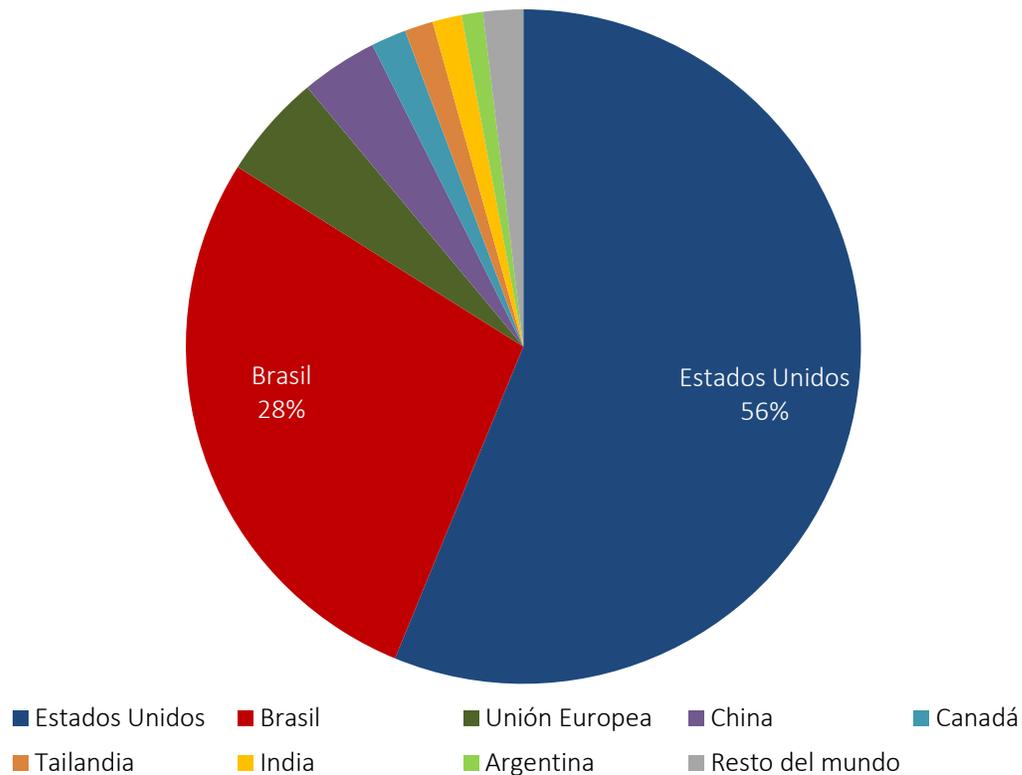
Mediante la destilación simple solamente es posible obtener etanol hidratado, al 95% aproximadamente, debido a que el etanol forma un azeótropo con el agua, es decir en este punto la mezcla se comporta como si fuera un solo componente. Esta dificultad se puede resolver mediante un proceso de rectificación hasta obtener un grado cercano al 100%.

4. ESTUDIO DE MERCADO

4.1 Mercado internacional

En 2018, la producción mundial de etanol fue 108,2 millones de metros cúbicos (28,6 billones de galones). Los principales países productores de etanol son Estados Unidos y Brasil. De acuerdo con *Renewable Fuels Association* (2019), en 2018 estos dos países aportaron 84% de la producción (véase la figura 4.1).

Figura 4.1 Distribución de la producción mundial de etanol, por país

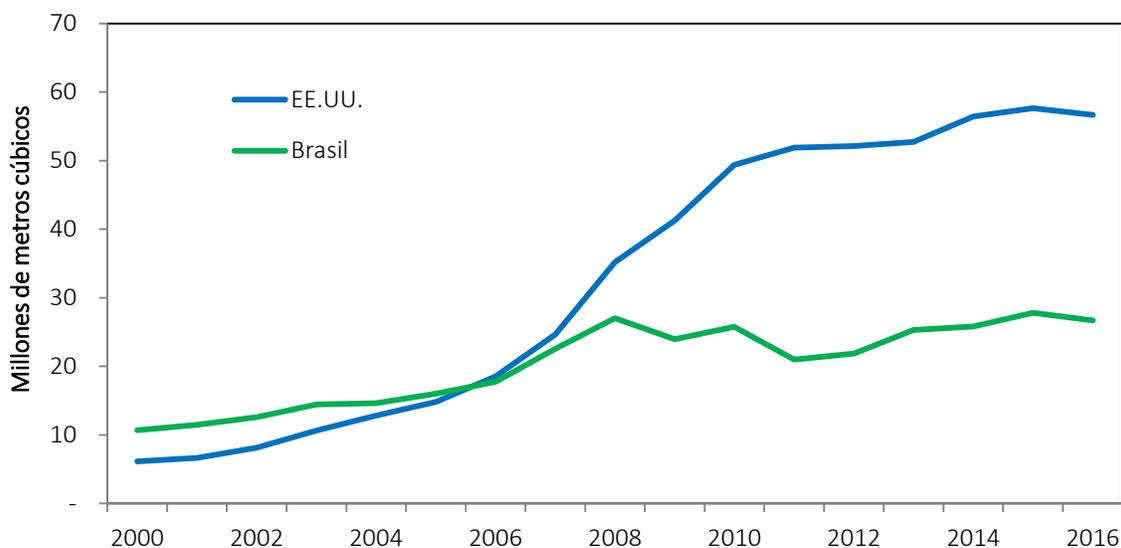


Fuente: Elaboración propia con datos de *Renewable Fuels Association* (RFA, 2019).

A finales del siglo XX, Brasil era el principal país productor de etanol, gracias a la implementación de políticas orientadas a incentivar el consumo de este biocombustible. Sin embargo, en los primeros

años del siglo XXI, la producción de etanol de Estados Unidos experimentó un rápido crecimiento; de forma tal que en 2006 igualó a la de Brasil y en 2010 la duplicó (véase la figura 4.2).

Figura 4.2 Producción anual de etanol en Estados Unidos y Brasil



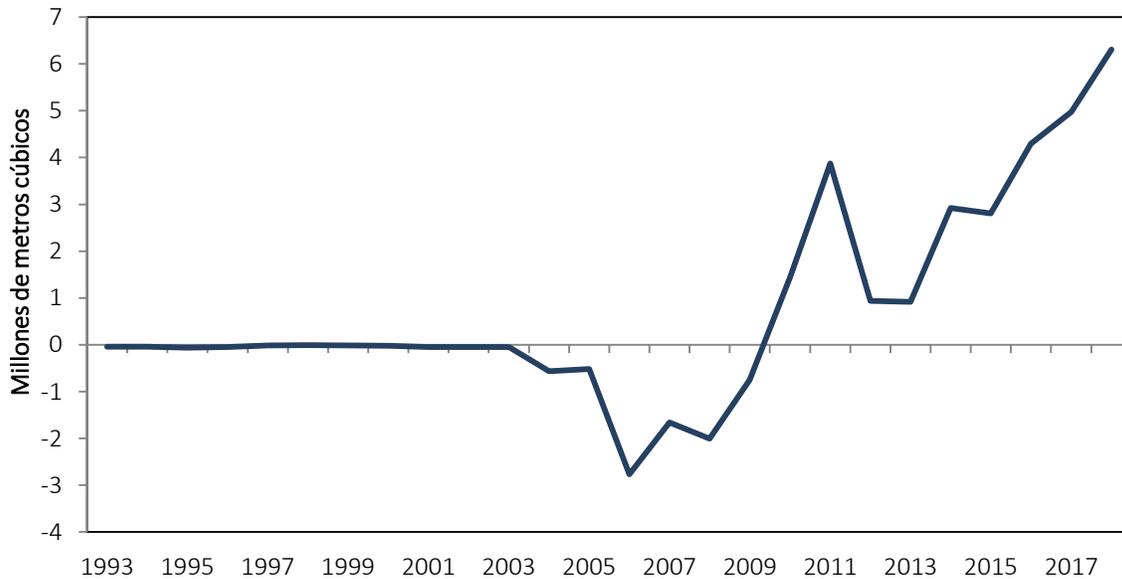
Fuente: Elaboración propia con datos de U.S. Energy Information Administration (EIA, 2019a).

A partir de 2005, la producción estadounidense se aceleró aún más: mientras en el periodo 2000 – 2005 el crecimiento anual fue 16%, en el período 2005 – 2010 se tuvo un crecimiento anual de 22%. Esta aceleración se debió a la puesta en marcha del programa *Renewable Fuels Standard* (RFS) en 2005 y su ampliación (RFS2) en 2007 (véase la sección 2.1). La adición de etanol en las gasolinas también ha sido promovida por medio de un incentivo fiscal a las terminales en las que se efectúa la mezcla¹⁴.

¹⁴ En EE.UU., el principal subsidio federal aplicado al etanol, llamado *Volumetric Ethanol Excise Tax Credit*, consiste en el reconocimiento de un crédito fiscal de 45 centavos de dólar por cada galón de etanol mezclado con gasolina (ThoughtCo, 2019). Como referencia, esto equivaldría a unos 69 colones por litro (utilizando un tipo de cambio de 578,38 colones/dólar; correspondiente al promedio de 2018, dado por el Banco Central para las operaciones con el sector público no bancario).

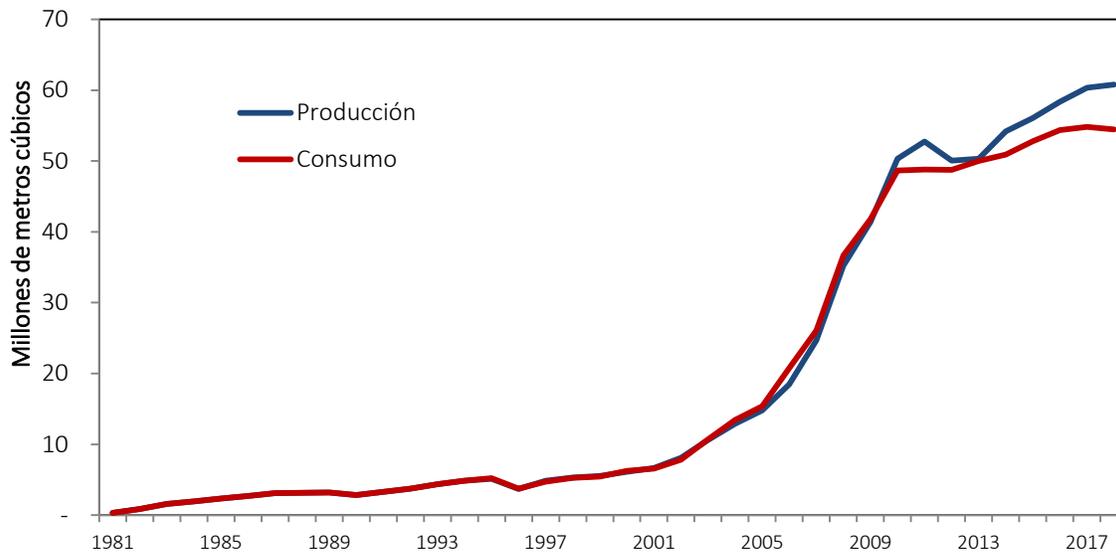
En 2010, Estados Unidos se convirtió en un exportador neto de etanol. A partir de este momento, la producción ha sido siempre ligeramente mayor al consumo del país (véanse las figuras 4.3 y 4.4).

Figura 4.3 Balance neto de las importaciones y exportaciones de etanol de Estados Unidos



Fuente: Elaboración propia con datos de U.S. Energy Information Administration (EIA, 2019c).

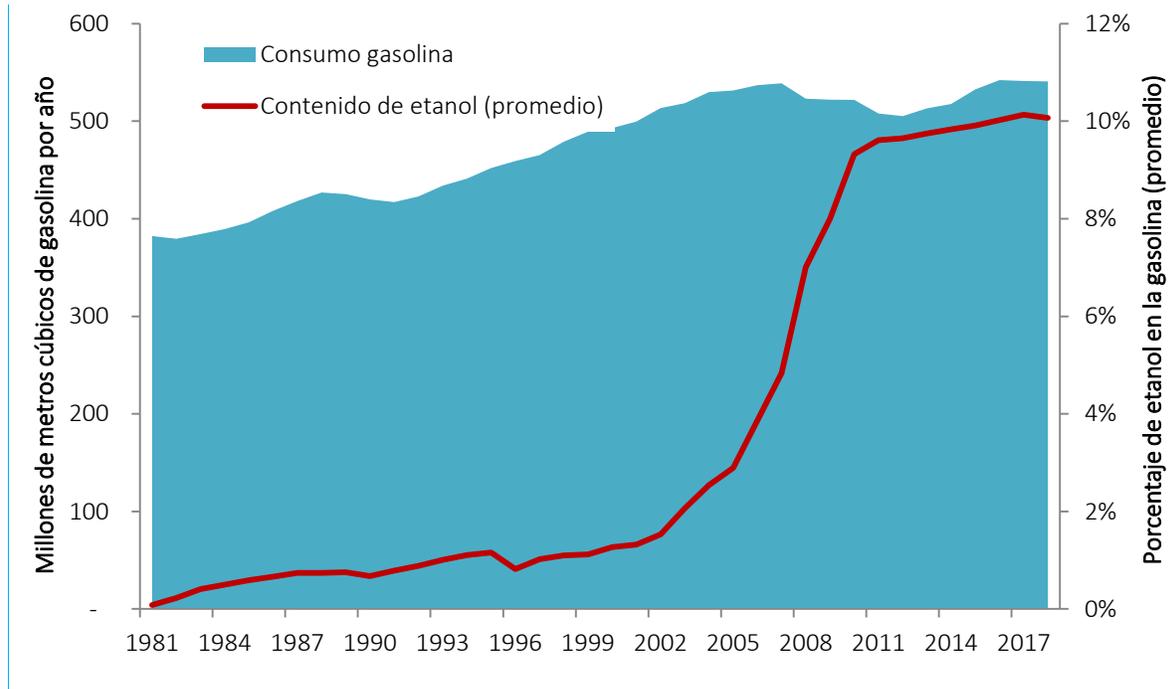
Figura 4.4 Producción y consumo de etanol en Estados Unidos



Fuente: Elaboración propia con datos de U.S. Energy Information Administration (EIA, 2019c).

A pesar del rápido crecimiento experimentado en la primera década del siglo XXI, a partir de 2011 la producción de etanol de Estados Unidos ha crecido lentamente. En el período 2011 – 2016 se tuvo un crecimiento anual de solamente 2%. Esto coincide con el momento en el cual el contenido promedio de etanol en las gasolinas alcanzó el 10%; a este fenómeno se le ha denominado *Blend Wall*. Desde entonces, el consumo de etanol en EE.UU. ha permanecido más o menos estable (véase la figura 4.5).

Figura 4.5 Consumo de gasolina y promedio de etanol en la gasolina en EE.UU

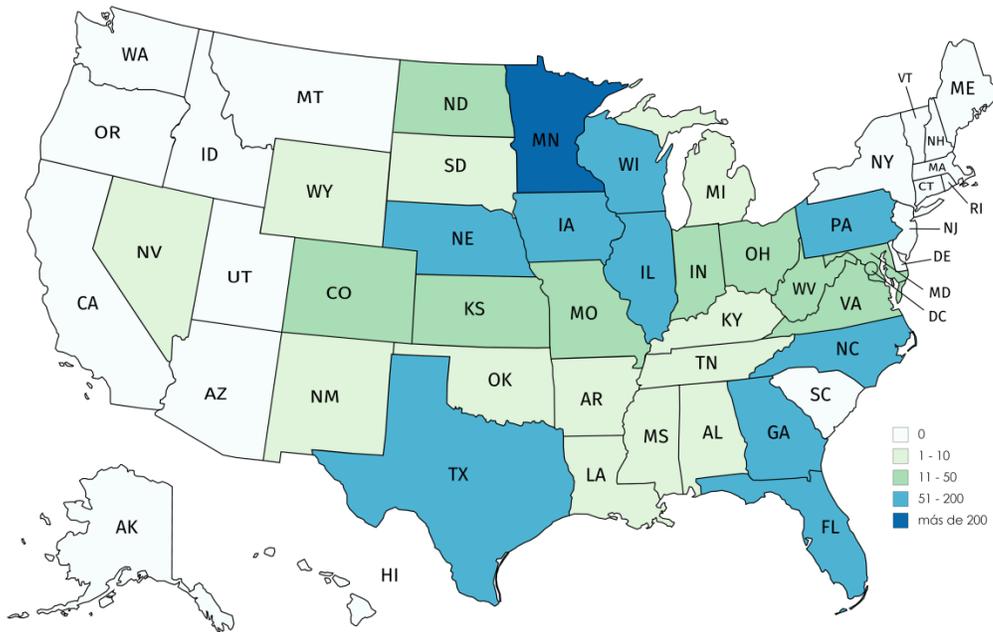


Fuente: Elaboración propia con datos de U.S. Energy Information Administration (EIA, 2019c).

Se espera que Estados Unidos supere el *Blend Wall* de 10% de etanol en las gasolinas en los próximos años, debido a que las mezclas con mayores porcentajes de etanol son cada vez más comunes en ese país. En junio de 2011, la *Environmental Protection Agency* (EPA) aprobó el uso de gasolina con 15% de etanol (E15) en automóviles de modelos de 2011 en adelante y camiones pequeños (EPA, 2017a). Actualmente, 1 840 estaciones de servicio, a lo largo de 31 estados,

ofrecen gasolina con 15% de etanol (E15) en EE.UU. (*Growth Energy, 2019*). Sin embargo, esto representa menos de 2% de las estaciones de servicio de ese país (EIA, 2019) (véase la figura 4.6).

Figura 4.6 Distribución por estado de las estaciones de servicio que ofrecen E15 en EE.UU., a 2019



Fuente: Elaboración propia con datos de Growth Energy citados por EIA (EIA, 2019d).

El 31 de mayo de 2019, la *Environmental Protection Agency* (EPA) extendió la excepción que permite un aumento de 1 psi (6,9 kPa) adicional en la presión de vapor Reid (RVP) durante el verano, para que sea aplicable también a la mezcla E15 (EPA, 2019). Esto implica que, de ahora en adelante, la mezcla E15 va a estar disponible todo el año. Es de esperar que esta medida conduzca, en el corto plazo, a un aumento en el consumo de etanol en Estados Unidos.

Algunas estaciones de servicio de Estados Unidos también ofrecen mezclas con mayores porcentajes de etanol (hasta 85% de etanol) para ser utilizadas en vehículos Flex Fuel (véase la figura 4.7). De acuerdo con la base de datos *Alternative Fuels Data Center* del Departamento de Energía de Estados Unidos, actualmente hay 3 676 estaciones de servicio que ofrecen E85 en ese país (*U.S Department of Energy, s.f.*) (véase la figura 4.8). Por otra parte, la flotilla de vehículos Flex

Fuel ha crecido de manera sostenida en los últimos años (en el período 2010 – 2017 creció 5% por año); en 2017 se superaron las 390 000 unidades Flex Fuel (EIA, 2019c) (véase la figura 4.9).

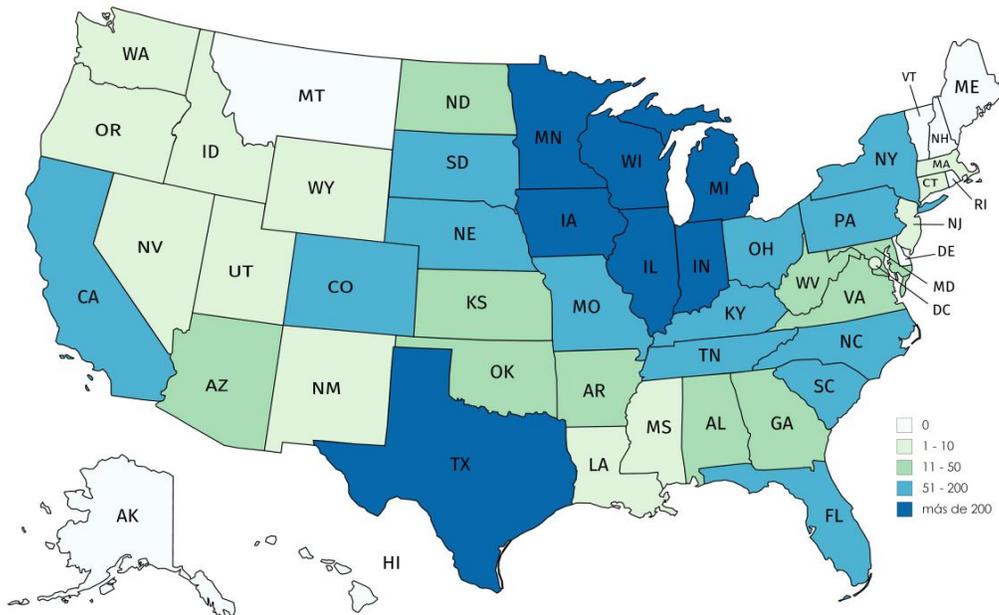
Figura 4.7 Mezclas de gasolina con etanol disponibles en una estación de servicio en Kansas, EE.UU.¹⁵



Por otra parte, la producción de etanol de Brasil presentó un fuerte crecimiento durante los primeros años del siglo XXI, aunque menor que el de Estados Unidos (que tuvo un crecimiento anual de 16% en el período 2000 – 2005, y de solamente 1% entre 2009 y 2016). No obstante, a partir de 2008 la industria de la caña de azúcar brasileña entró en crisis, debido en parte a la situación económica mundial. En el período 2008 – 2011 la producción decreció a un ritmo de - 6% anual. En 2011, se inició una lenta recuperación: en el período 2011 – 2016 la producción creció un 4% anual (véase la figura 4.2).

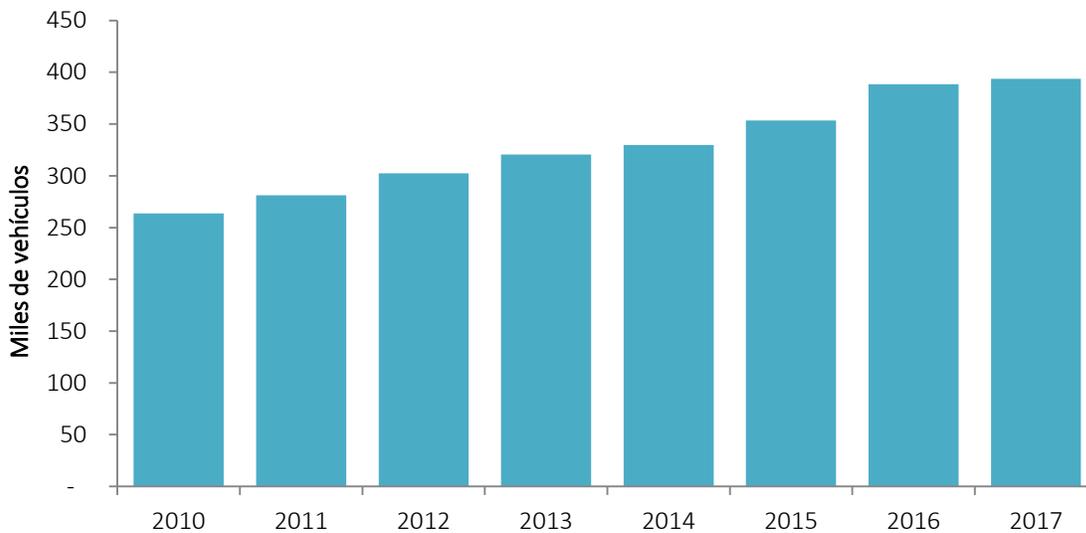
¹⁵ A diferencia de Costa Rica, que sigue el estándar europeo de reportar el octanaje según el RON (Research Octane Number), en los Estados Unidos se utiliza el promedio de RON y MON (Motor Octane Number). La diferencia entre RON y MON se le llama “sensibilidad” y normalmente está entre 10 y 12 puntos de octano. Esto significa que una gasolina RON 95 equivale aproximadamente a un $(RON + MON)/2$ de 89. Los mayores grados de octanaje en las gasolinas de Estados Unidos se logran con mayores proporciones de etanol, hasta llegar al grado FLEX, como se aprecia en la Figura 4.8

Figura 4.8 Distribución por estado de las estaciones de servicio que ofrecen E85 en EE.UU., a 2019



Fuente: Elaboración propia con datos de U.S. Department of Energy (s.f.).

Figura 4.9 Cantidad de vehículos Flex Fuel en Estados Unidos (miles de vehículos)



Fuente: Elaboración propia con datos de U.S. Energy Information Administration (EIA, 2019c).

El modelo de producción predominante en Brasil consiste en el proceso integrado para obtener tanto azúcar como etanol (de las melazas resultantes de la producción de azúcar); aunque también existen algunas destilerías autónomas, dedicadas por completo a la obtención de etanol (Dias, y otros, 2015). Esta situación le concede flexibilidad a Brasil para ajustar, dentro de un cierto ámbito, las producciones de azúcar y etanol, conforme a las variaciones del mercado.

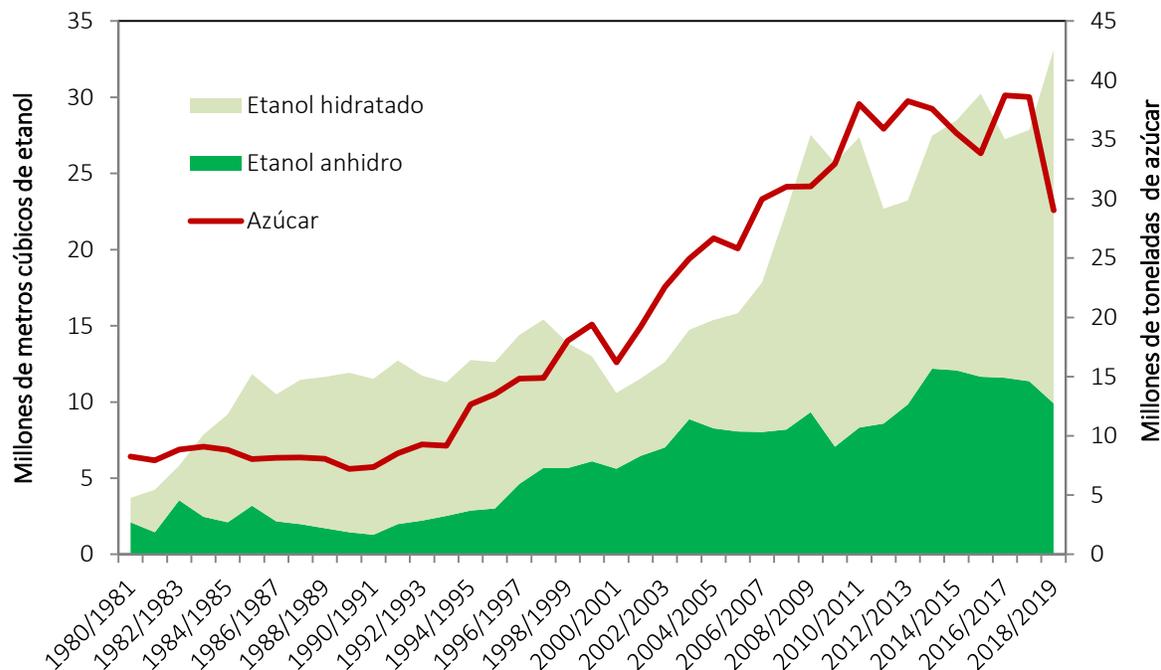
La producción brasileña de etanol se divide en dos tipos: anhidro e hidratado. El etanol anhidro puede tener hasta 0,4% v/v de agua y el etanol hidratado puede tener hasta 4,9% v/v de agua y (Belincanta, Alchorne, & Teixeira da Silva, 2016); el primero se utiliza, mezclado con gasolina, en vehículos convencionales; y el segundo se utiliza en vehículos Flex Fuel (los cuales aceptan cualquier proporción de etanol o gasolina).

En la figura 4.10 se muestran las producciones, por zafra, de etanol hidratado, etanol anhidro y azúcar. Se puede observar que a partir de la zafra 2010-2011 la producción de azúcar se estancó y que en los últimos años sufrió una importante caída. Durante el mismo período, la producción de etanol tuvo un comportamiento irregular pero con una tendencia al alza. El etanol les ofrece una oportunidad a los productores de azúcar para orientar las operaciones hacia un producto alternativo, de alto valor, en los momentos en que el mercado del azúcar no sea tan favorable.

La producción brasileña de etanol anhidro es muy similar a su consumo (véase la figura 4.11) y las importaciones suelen ser similares a las exportaciones (véase la figura 4.12).

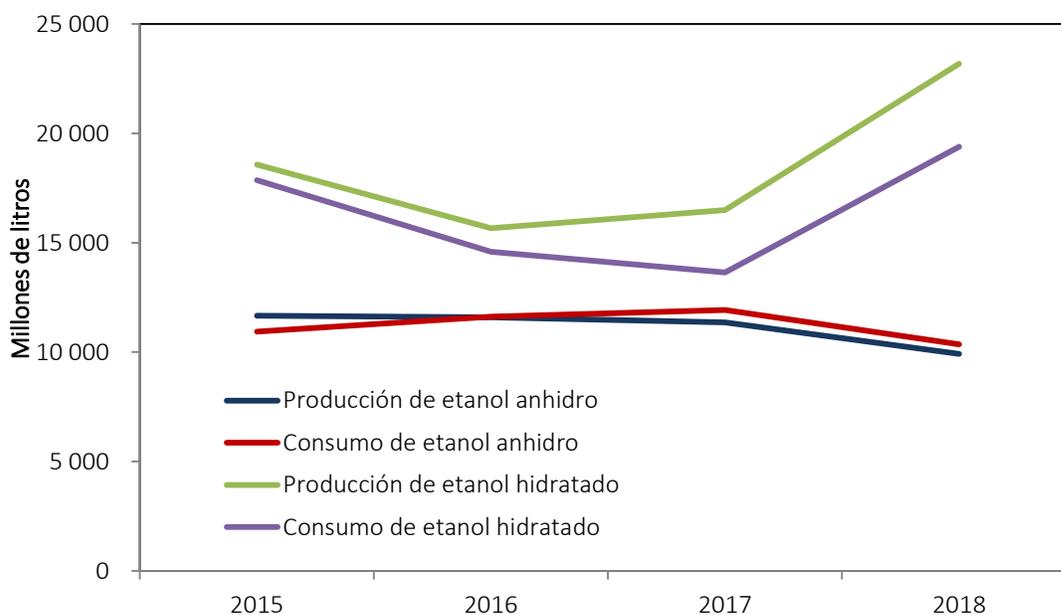
Es importante resaltar que toda la gasolina que se comercializa en Brasil contiene etanol. El 16 de marzo de 2015 el gobierno aumentó la mezcla obligatoria de etanol en las gasolinas a 27% (Emol, 2015). En la figura 4.13 se muestra el consumo de etanol hidratado y de gasolina con 27% de etanol anhidro.

Figura 4.10 Producción de etanol y azúcar de Brasil



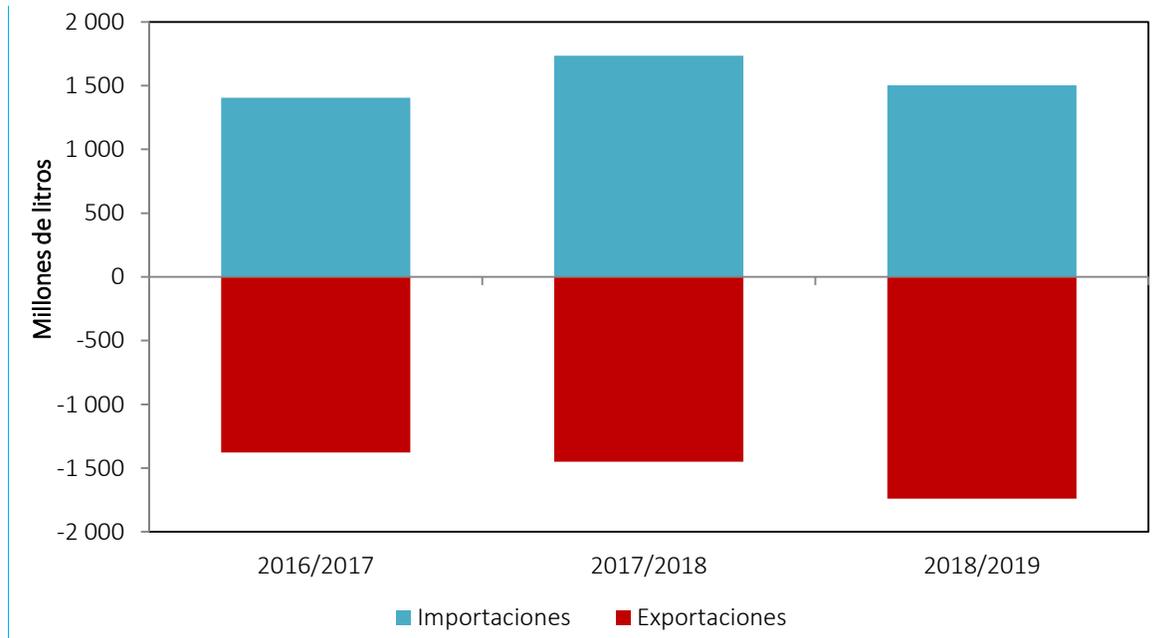
Fuente: Elaboración propia con datos de la Asociación brasileña de la industria de la caña de azúcar (Unica, s.f.)

Figura 4.11 Producción y consumo de etanol anhidro e hidratado, en Brasil



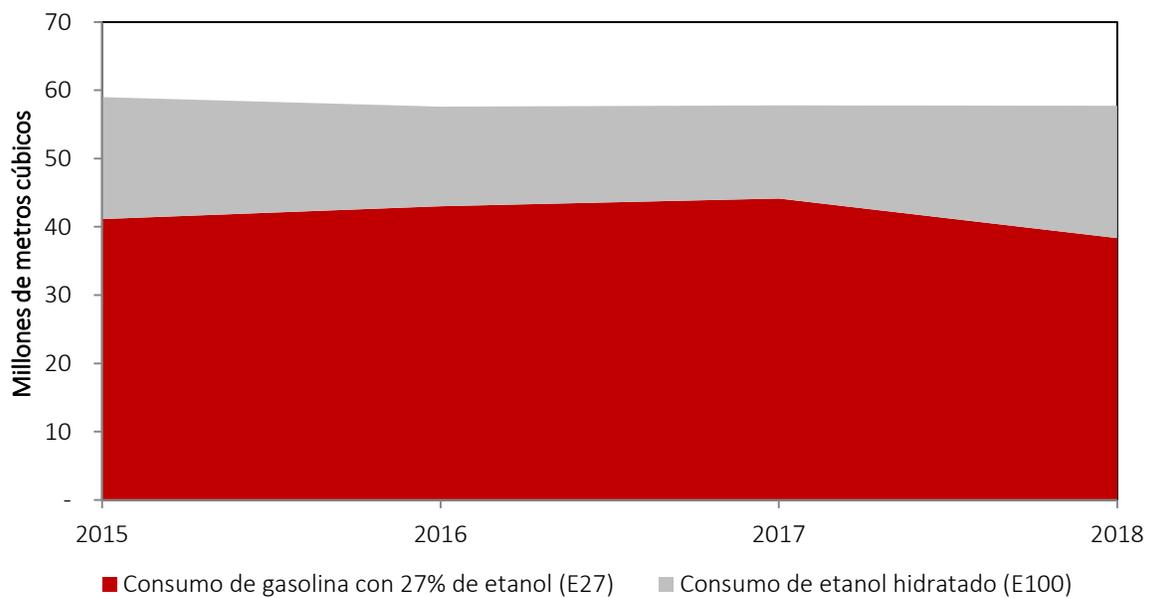
Fuente: Elaboración propia con datos de la Asociación brasileña de la industria de la caña de azúcar (Unica, s.f.)

Figura 4.12 Importaciones y exportaciones de etanol de Brasil



Fuente: Elaboración propia con datos de la Asociación brasileña de la industria de la caña de azúcar (UNICA, s.f.)

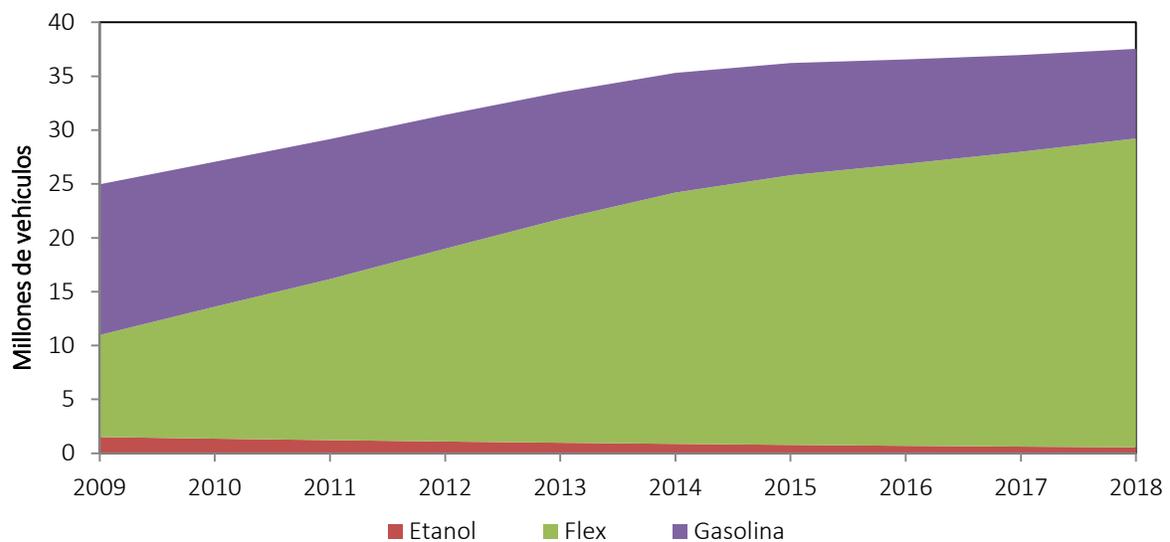
Figura 4.13 Consumo de etanol hidratado y gasolina con etanol anhidro en Brasil



Fuente: Elaboración propia con datos de la Asociación brasileña de la industria de la caña de azúcar (Unica, s.f.)

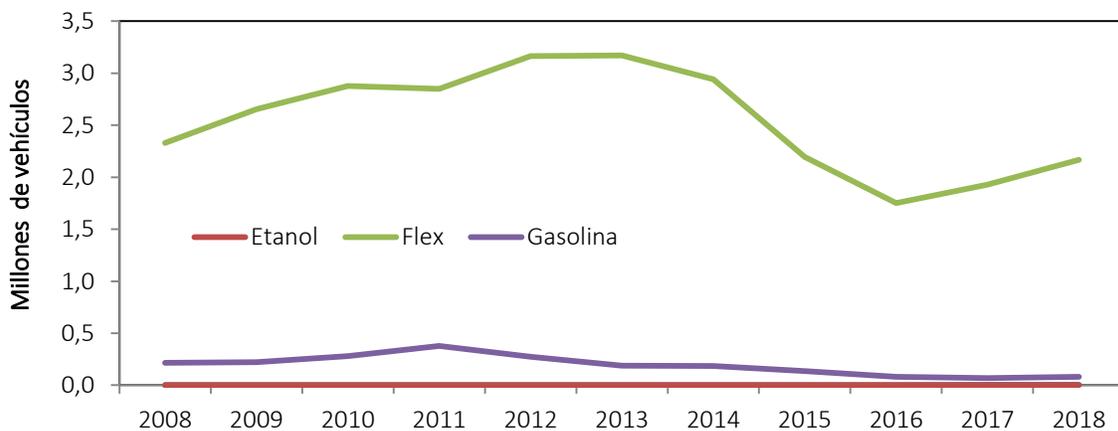
En 2018, 76% de los automóviles de ciclo de Otto (incluyendo eléctricos), en Brasil, eran Flex Fuel. Como ya mencionó estos vehículos pueden operar con etanol hidratado o con cualquier proporción de gasolina con etanol. En el período 2009 – 2018, la flota Flex Fuel aumentó 12% cada año y en 2018 las ventas de este tipo de vehículos representaron el 96% de las de automóviles de ciclo de Otto (véanse las figuras 4.14 y 4.15).

Figura 4.14 Flotilla vehicular de Brasil, por tipo de vehículo (ciclo de Otto)



Fuente: *Elaboración propia con datos de la Asociación brasileña de la industria de la caña de azúcar (Unica, s.f.)*

Figura 4.15 Ventas de vehículos en Brasil, por tipo de combustible (ciclo de Otto)



Fuente: *Elaboración propia con datos de la Asociación brasileña de la industria de la caña de azúcar (Unica, s.f.)*

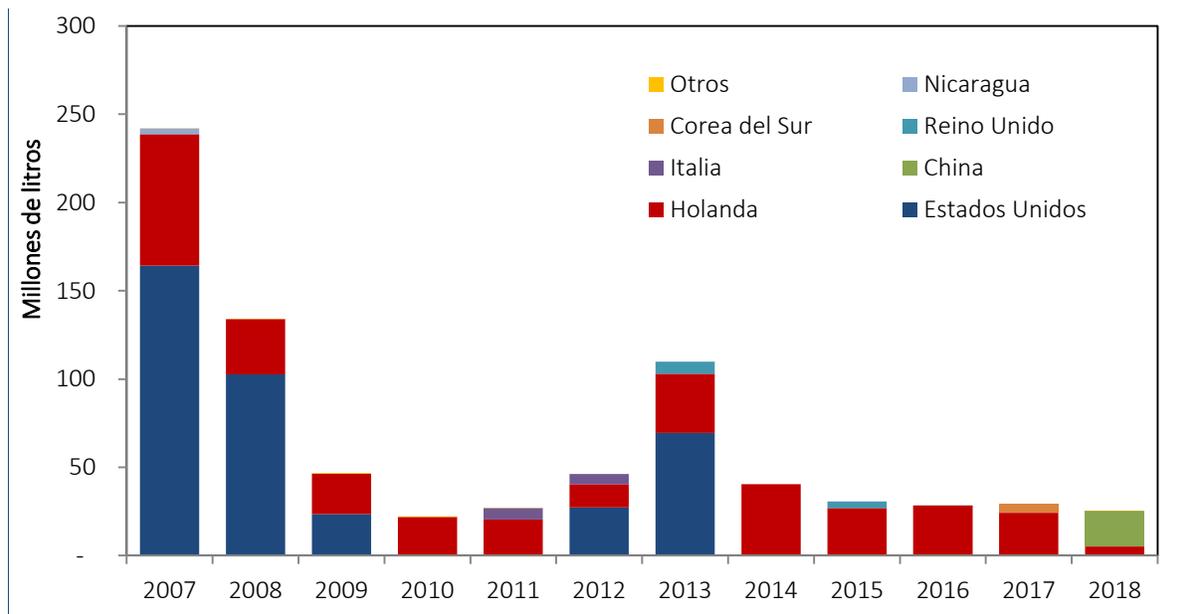
Es importante resaltar que Brasil aún cuenta con más de 8 millones de vehículos que operan con gasolina; estos vehículos utilizan gasolina con 27% de etanol, dado que ese es el porcentaje mínimo de mezcla definido por el gobierno, a nivel nacional.

A partir de la producción mundial de etanol (108 millones de m³ en 2018) y la producción mundial de gasolinas (del orden de 1 700 millones de m³ en el mismo año) (BP Statistical Review of World Energy 2019), y asumiendo una mezcla promedio E15, un 42% de los vehículos estarían utilizando actualmente gasolinas con etanol. Por lo tanto, se tiene que para un parque vehicular mundial a gasolina estimado en 900 millones (dato orientativo¹⁶) cerca de 380 millones de esos vehículos particulares estarían usando gasolinas con etanol.

4.2 Mercado internacional del etanol costarricense

Actualmente, la mayor parte del etanol producido en Costa Rica está destinado a la exportación. En la figura 4.16 se muestran las exportaciones por país.

Figura 4.16 Exportaciones de etanol de Costa Rica, por país



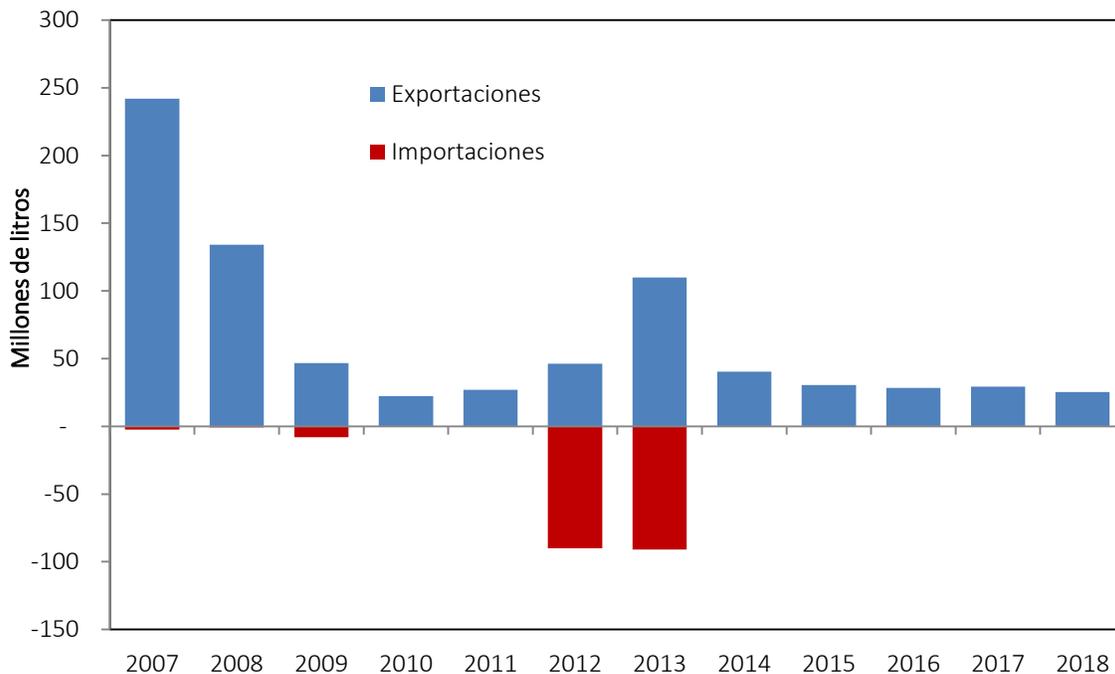
¹⁶ Diversas fuentes estiman que la flota vehicular mundial ronda actualmente los 1200 millones de vehículos. Para esta estimación, se supone que el 75% de estos usa gasolinas.

Fuente: Elaboración propia con datos de Procomer

Antes de 2013, el principal comprador del etanol costarricense era Estados Unidos, sin embargo, debido a un desacuerdo entre ambos países respecto al Tratado de Libre Comercio (TLC), Costa Rica no ha exportado etanol a Estados Unidos desde abril del 2013. La diferencia entre ambos países se da a raíz de la aplicación de un arancel de 2,5% a las exportaciones de etanol deshidratado de Costa Rica hacia Estados Unidos (COMEX, 2014). Además, desde 2010 Estados Unidos es un exportador neto de etanol (véase la figura 4.3), por lo que en la actualidad sus importaciones son considerablemente menores.

En la figura 4.17 se muestran las exportaciones e importaciones de etanol, en Costa Rica, desde 2007 al presente¹⁷.

Figura 4.17 Exportaciones e importaciones de etanol de Costa Rica



Fuente: Elaboración propia con datos de Procomer

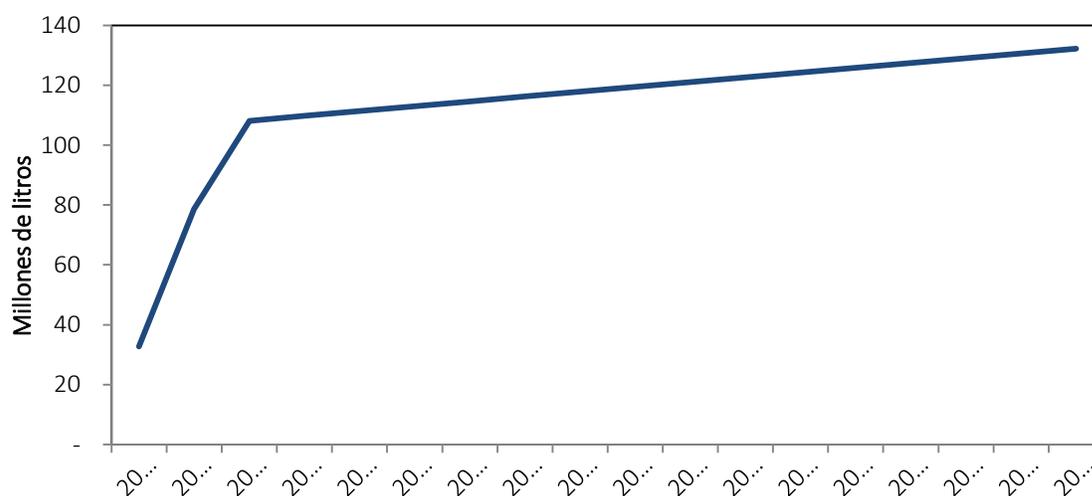
¹⁷ Todos los años ha habido pequeñas importaciones (que no se visualizan en el gráfico porque son mucho menores que las exportaciones). Por ejemplo, en 2018 se importaron 300 000 litros.

En años recientes, las exportaciones de etanol han sido del orden de los 30 millones de litros por año. Por otra parte, la producción de las dos destilerías del país, Catsa y Taboga, es del alrededor de 40 millones de litros¹⁸.

Además, la liga industrial de la caña de azúcar (LAICA) tiene una planta rectificadora de etanol en Punta Morales, con una capacidad de 630 000 litros por año (LAICA, 2018a); si se asume una operación de 350 días al año, se podrían producir hasta 221 millones de litros por año. Esta planta permite procesar etanol con un grado de 93,6% y extraerle el agua por medio de la columna rectificadora y los tamices moleculares, para obtener etanol con un grado de 99,7%. Cuando Costa Rica exportaba etanol a Estados Unidos, LAICA procesaba etanol hidratado proveniente de Europa y Brasil (LAICA, 2018a); de esta manera, era posible superar varias veces la producción de las dos destilerías.

En la figura 4.18 se muestra la proyección de los requerimientos del programa de mezclas de gasolina con etanol para Costa Rica (asumiendo una mezcla al 8%), de acuerdo con la programación que se detalla más adelante en este estudio.

Figura 4.18 Proyección de consumo de etanol (asumiendo una mezcla al 8%)



Fuente: Elaboración propia con datos de la Dirección de Planificación y la Gerencia de Desarrollo.

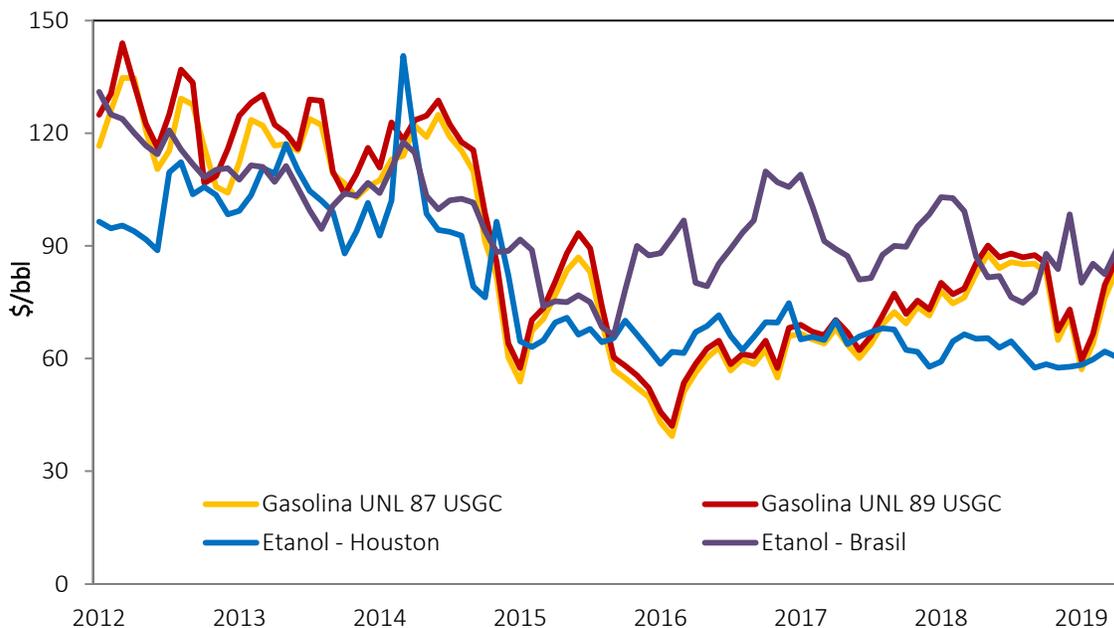
¹⁸ Este dato se obtuvo por medio de conversaciones con personal de Taboga y la información publicada por Catsa en su sitio web: <https://www.catsa.net/areas-de-produccion/destileria/>

Se puede observar que los requerimientos del programa de etanol superan la producción nacional. Por lo tanto, en caso de que el etanol sea producido en Costa Rica, existe una importante oportunidad para el crecimiento de la agroindustria nacional.

4.3 Precios

Históricamente, los precios del etanol han sido similares a los de las gasolinas; en algunos momentos ligeramente menores y en otros ligeramente mayores. En la figura 4.19 se muestran los precios CIF Moín de las gasolinas provenientes de Costa de Golfo, Estados Unidos (USGC, por sus siglas en inglés), y del etanol carburante, tanto de Houston como de Brasil.

Figura 4.19 Precios CIF Moín (enero 2012 – abril 2019) de gasolina UNL 87, gasolina UNL 89, etanol anhidro de Brasil y etanol anhidro de EE.UU. (precios nominales)

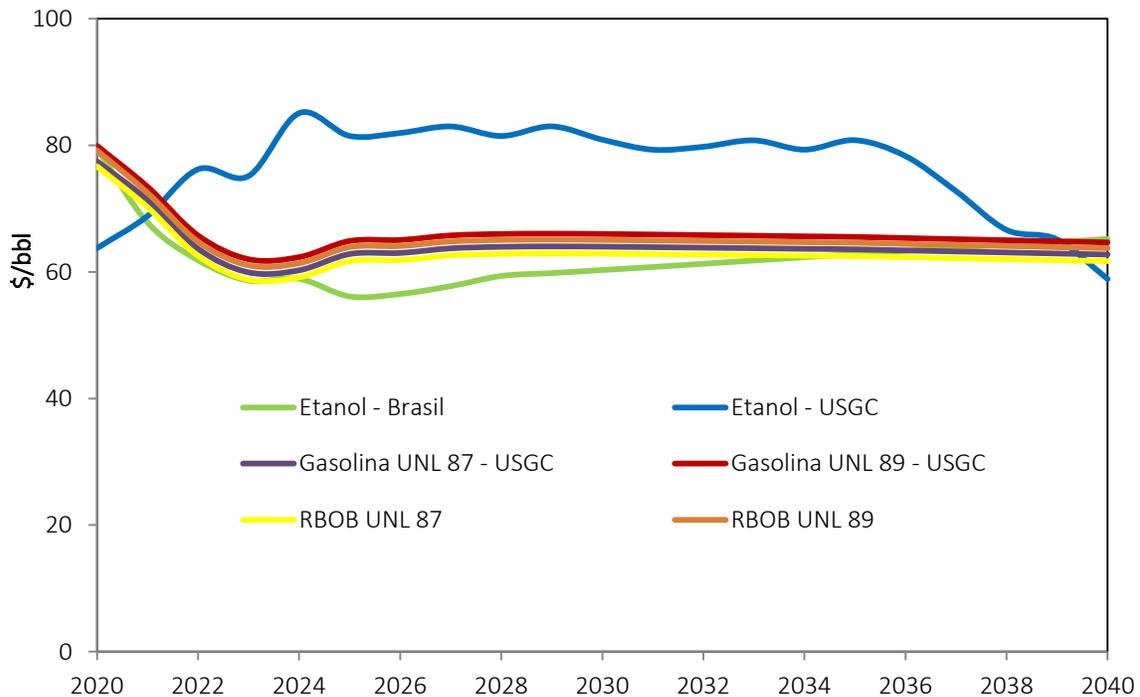


Fuente: Elaboración propia con datos de Platts.

Se puede observar que a partir de 2016 el etanol de Brasil ha tenido un precio mayor que el de Estados Unidos, sin embargo, de acuerdo a las proyecciones de Pira, en los próximos años esta

situación se revertiría: el precio del etanol de Estados Unidos sería mayor al de Brasil (véase la figura 4.20).

Figura 4.20 Proyecciones de precios CIF Moín de gasolina UNL 87, gasolina UNL 89, gasolina RBOB¹⁹ UNL 87, gasolina RBOB UNL 89, etanol anhidro de Brasil y etanol anhidro de EE.UU. (en dólares constantes de 2018)²⁰.



Fuente: Elaboración propia con datos de Pira y la Dirección de Comercio Internacional

De acuerdo con lo proyectado por Pira, el precio del etanol de Estados Unidos tendría un incremento significativo durante el período 2020 – 2024, debido al aumento en la demanda interna, impulsado por la mayor penetración de las mezclas E15 y E85. A partir de 2024, el precio se estabilizaría. Luego, en 2035, se iniciaría una pronunciada caída en la demanda y el precio, a raíz de la mayor penetración de los autos eléctricos.

¹⁹ Las gasolinas RBOB (*Reformulated Blendstock for Oxygenate Blending*) son gasolinas base para ser mezcladas con etanol en el rack de carga.

²⁰ Los precios de la figura 3.17 incluyen los fletes marítimos, desde los puertos de origen hasta Moín, estimados por la Dirección de Comercio Internacional de RECOPE.

Por otra parte, el precio del etanol de Brasil se vería afectado por la entrada en vigencia, en enero de 2019, del programa RenovaBio, orientando a mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero mediante la creación de créditos de carbono.

De acuerdo con Pira, en los primeros años de la proyección (2020 – 2025), RenovaBio aún estaría en una especie de “curva de aprendizaje” y los precios del etanol tenderían a la baja, debido a una alta correlación con los precios de las gasolinas base. Posteriormente, a partir de 2025, una vez que comiencen a apreciarse los efectos del programa RenovaBio, la demanda interna brasileña iría en aumento, por lo que el precio se incrementaría de manera gradual pero constante.

5. ESTUDIO TÉCNICO

La implementación de las mezclas de gasolina con etanol, a nivel nacional, involucra los siguientes pasos:

1. **Recibo del etanol en cada terminal de distribución:** Este paso varía dependiendo de si el etanol es de origen nacional o importado²¹:
 - Etanol nacional: se recibe en camiones cisterna, en cada una de las cuatro terminales de RECOPE.
 - Etanol importado: se recibe por medio de la línea marina en la terminal de Moín. Una parte permanece en Moín para el consumo local y el resto se trasiega por medio de camiones cisterna hasta las otras tres terminales.
2. **Mezcla de etanol en las terminales:** Se puede realizar de diversas maneras (véase la sección 5.1, donde se detallan las alternativas consideradas y la seleccionada).
3. **Trasiego de la gasolina mezclada con etanol hasta las estaciones de servicio, por medio de camiones cisterna.**

Se recomienda que el etanol se transporte por medio de camiones cisterna, y no por poliducto. El trasiego de etanol por poliducto no suele ser viable, debido a que su afinidad por el agua y sus propiedades solventes hacen que se requieran líneas dedicadas para este biocombustible, lo cual, a su vez, encarece la inversión (*Alternative Fuels Data Center, s.f.*). Por ejemplo, de acuerdo con el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (citado en *Alternative Fuels Data Center, s.f.*), cerca del 90% de etanol que se consume en ese país se transporta en trenes o camiones cisterna, alrededor del 10% en embarcaciones y solamente una cantidad marginal por medio de poliducto.

Por esta misma razón, la mezcla se lleva a cabo en cada una de las terminales

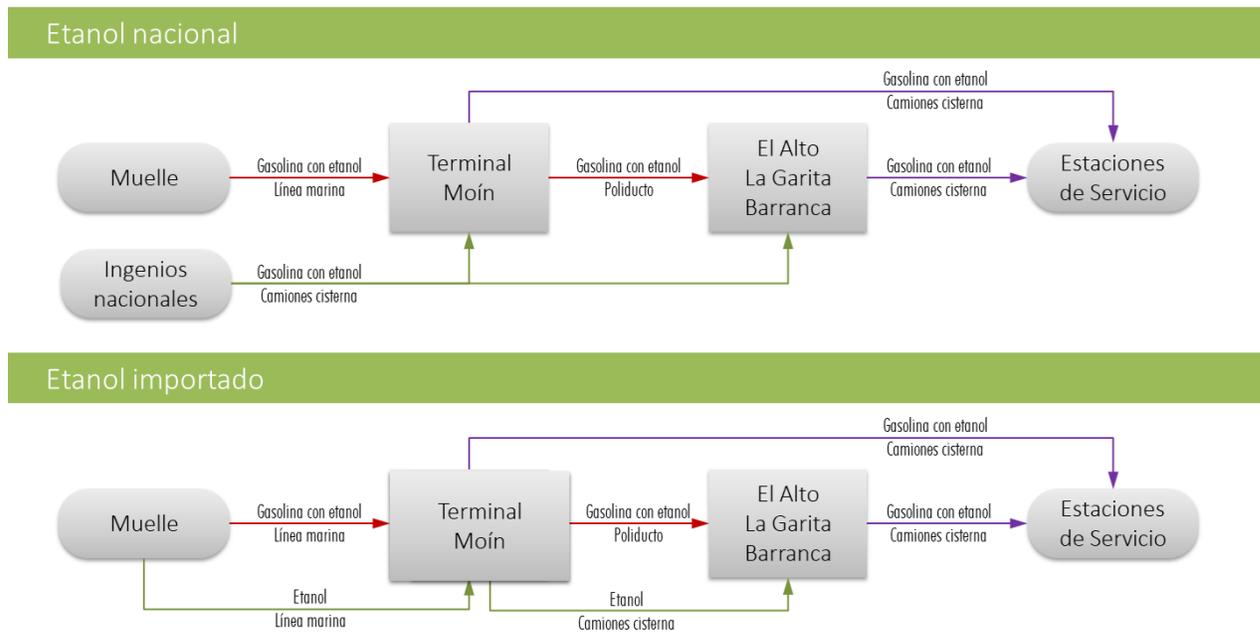
La posible reducción en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociada al uso del etanol es mucho mayor al correspondiente incremento de las emisiones debido al transporte del

²¹ Para efectos de las proyecciones financieras se supone que el etanol es importado.

etanol en camiones cisterna hasta cada una de las terminales. Por lo tanto, el efecto neto sería siempre positivo (en el análisis ambiental del capítulo 7 se consideran ambos efectos).

En la figura 5.1 se muestra la logística para la mezcla y distribución de las gasolinas con etanol, a nivel nacional.

Figura 5.1 Logística para la mezcla y distribución de las gasolinas con etanol



Fuente: Elaboración propia.

El proyecto que es objeto de este estudio consiste en la construcción, puesta en marcha y operación de un sistema de dosificación de etanol en las gasolinas, tanques de almacenamiento de etanol y obras auxiliares, en las terminales. Entre las obras auxiliares, se incluyen descargaderos para el recibo de etanol, por medio de camiones cisterna, sistemas contra incendios, interconexiones, entre otros.

RECOPE ya cuenta con parte de esta infraestructura necesaria, concretamente en Moín: dosificadores de etanol en los nuevos cargaderos de ventas de gasolina, tres tanques de 5 000 barriles (795 metros cúbicos) cada uno para el almacenamiento del etanol, línea marina para el

trasiego de etanol desde el muelle (en caso de que se requiera importar etanol) y tanque de 100 000 barriles (15 900 metros cúbicos) para el eventual almacenamiento de etanol importado. Esta infraestructura no forma parte del proyecto a desarrollar, dado que ya se construyó (como en el caso de los tres tanques de 5 000 barriles o los dosificadores en línea) y, en cualquier caso, pueden ser sujetos de un cambio de uso para que refuercen la capacidad de almacenamiento de gasolinas en la terminal de ventas de Moín.

5.1 Selección de la alternativa para la mezcla en las terminales

En el estudio de prefactibilidad, elaborado en 2014, se contemplan las siguientes alternativas para llevar a cabo las mezclas:

- a) **Mezclado en tanque:** El proceso de mezclado se lleva a cabo mediante el bombeo alternado de gasolina y etanol a un mismo tanque y la posterior recirculación (durante 12 horas aproximadamente), por medio de una tubería que extrae parte de la mezcla y la reintroduce al mismo tanque. Cada cierto tiempo se toman muestras a distintas alturas del tanque, para verificar que el producto se haya homogenizado y que cumpla con los parámetros de calidad establecidos. Este método es el que requiere menos equipos e inversión; sin embargo, es poco preciso y necesita más tiempo para la preparación de la mezcla y el control de los remanentes en los tanques.
- b) **Mezclado en línea, en la sección de recibo del poliducto:** Consiste en la dosificación del etanol directamente en la tubería de recibo de gasolina, en cada terminal. Una vez mezclado, el producto se almacena en un tanque, listo para ser bombeado hasta los cargaderos de ventas de gasolina. Este método requiere una inversión un poco mayor que la mezcla en tanque, pero la dosificación se realiza con mayor precisión (además, se requiere de un mayor control de los remanentes en el tanque de recibo).
- c) **Mezclado en línea, en los cargaderos de ventas de gasolina:** Consiste en la dosificación del etanol directamente en la tubería de llenado de los camiones cisterna, en los cargaderos de venta de gasolinas. El mezclado se lleva a cabo en el momento de la venta, por lo que no es

necesario almacenar la mezcla en un tanque. Este método requiere una inversión un poco mayor que la de los dos anteriores, pero permite mantener las gasolinas y el etanol en tanques separados, en todo momento, y ofrece una alta precisión en la dosificación.

Las ventajas y desventajas de cada uno de los tres métodos considerados se resumen en el cuadro

5.1

Cuadro 5.1 Comparación entre los tres posibles métodos de mezcla de gasolinas con etanol

Método de mezcla	Ventajas	Desventajas
En tanque	Requiere una inversión muy baja.	La gasolina mezclada con el etanol debe almacenarse en tanques.
		Es poco preciso y requiere más tiempo para la preparación de la mezcla.
En la tubería de recibo del poliducto	El porcentaje de mezcla se puede definir con mayor precisión, aunque los remanentes en los tanques de recibo pueden afectar el resultado final.	La gasolina mezclada con el etanol debe almacenarse en tanques.
	La inversión podría ser menor a la de mezcla en cargaderos, pero mayor a la de mezcla en tanque.	
En los cargaderos de ventas de gasolina	El porcentaje de mezcla se puede definir con precisión.	La inversión es un poco mayor a la de los otros dos métodos.
	La gasolina y el etanol se pueden almacenar separados, en todo momento.	

Fuente: Elaboración propia.

Tomando en cuenta las ventajas y desventajas de cada método considerado, se concluye que el mezclado en línea en los cargaderos es el más recomendable. Además de realizar las mezclas con precisión, la dosificación directa en los cargaderos de ventas permite mantener las gasolinas y el etanol separados en todo momento (se utilizan tuberías, equipos y tanques exclusivos para cada componente de la mezcla), lo cual facilita las labores de mantenimiento.

Sin embargo, antes de poder contar con la infraestructura necesaria se debe llevar a cabo un proceso licitatorio. Por lo tanto, en una primera etapa, se tiene proyectado adicionar etanol solamente a la gasolina súper, mediante el mezclado en tanques en El Alto, La Garita y Barranca, de la misma forma como se realizó en Barranca durante el plan piloto. Una vez que la empresa cuente con el sistema de mezclado en cargaderos, se comenzaría a mezclar en ambas gasolinas.

Como ya se mencionó, Moín cuenta con un sistema de dosificación en los nuevos cargaderos de ventas, por lo que esta terminal tendría la posibilidad de realizar la mezcla por este método desde el comienzo.

5.2 Descripción del proceso de mezcla

Con base en la alternativa seleccionada, el Departamento de Ingeniería, de la Gerencia de Desarrollo de RECOPE, elaboró una ingeniería para el proyecto. En esta sección se describe el proceso de mezcla a implementar en las terminales de El Alto, La Garita y Barranca.

Cada terminal tiene la posibilidad de descargar el etanol, por medio de camiones cisterna, en descargaderos exclusivos para este fin. El trasiego del etanol, hasta los tanques de este producto, se lleva a cabo por medio de las bombas BRE-01/02 disponibles en cada terminal.

En caso de ser necesario, se puede importar etanol por el Caribe y recibirlo en la terminal de Moín. El producto se trasiega, por medio de una línea marina, hasta el tanque 705 (el cual tiene una capacidad de almacenamiento de 16 000 metros cúbicos). Posteriormente, el etanol se bombea hacia los tanques de los descargaderos (YT-913, YT-914 y YT-915; cada uno de los cuales tiene una capacidad de 795 metros cúbicos). El etanol que requieren las terminales de El Alto, La Garita y Barranca, se trasiega por medio de camiones cisterna, desde Moín.

Si el etanol es de origen nacional, se recibe directamente en cada terminal, por medio de camiones cisterna.

En el momento de realizar la mezcla, el etanol almacenado en los tanques se envía a los brazos de carga de gasolinas, por medio de las bombas de inyección BE-01/02/03.

5.3 Evaluación de la capacidad de almacenamiento de etanol

El diseño contempla tres tanques para el almacenamiento de etanol, en cada terminal. Esta configuración permite realizar labores de mantenimiento a uno de los tanques sin afectar las operaciones. Además, es posible dosificar etanol en los cargaderos de gasolina, al mismo tiempo que se descargan los camiones cisterna que ingresan a la terminal con este biocombustible.

En total se construirían nueve tanques para el almacenamiento de etanol (sus capacidades se resumen en el cuadro 5.2).

Cuadro 5.2 Capacidades de los tanques para el almacenamiento de etanol en El Alto, La Garita y Barranca²²

Terminal	Tanque	Capacidad nominal		Capacidad bombeable	
		bbbl	m ³	bbbl	m ³
El Alto	124	10 400	1 653	9 954	1 583
	125	10 400	1 653	9 954	1 583
	126	10 400	1 653	9 954	1 583
La Garita	528	10 400	1 653	9 954	1 583
	529	10 400	1 653	9 954	1 583
	530	10 400	1 653	9 954	1 583
Barranca	818	5 000	795	4 682	744
	819	5 000	795	4 682	744
	820	5 000	795	4 682	744
TOTAL		77 400	12 306	73 773	11 729

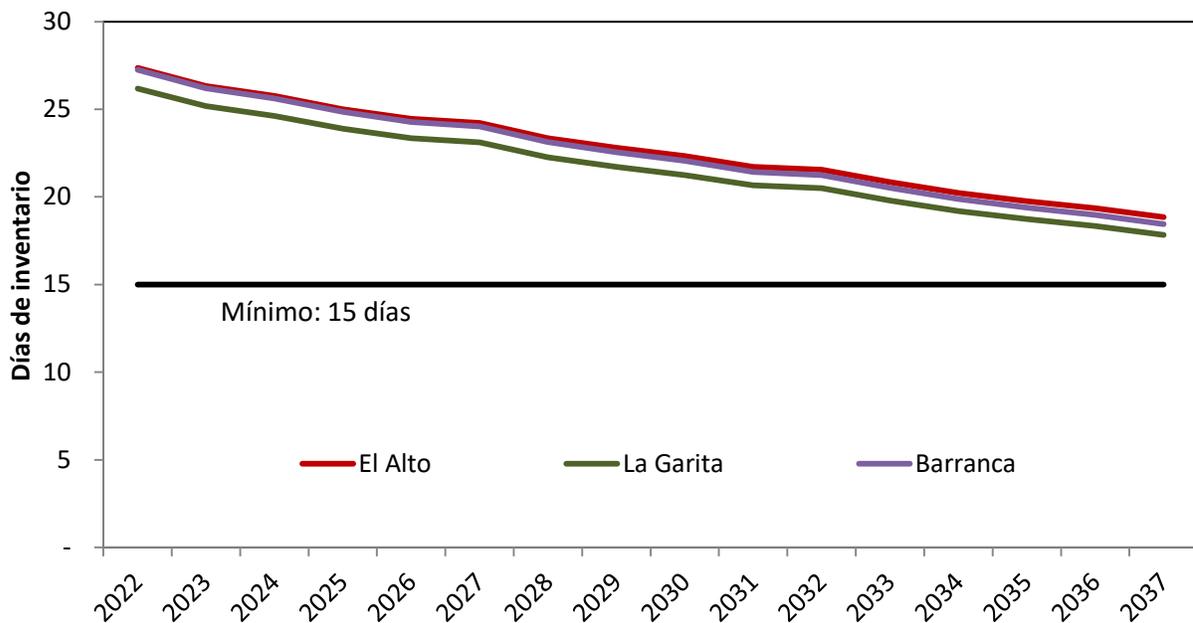
Fuente: Elaboración propia con datos de la Gerencia de Desarrollo.

²² En este estudio, se entiende por capacidad nominal el volumen de producto que puede contener el tanque. La capacidad bombeable se obtiene restándole el producto no bombeable (que se encuentra por debajo de la boquilla de succión) a la capacidad nominal.

La terminal de Moín ya cuenta con tres tanques de 5 000 barriles (795 m³) cada uno, para el almacenamiento de etanol.

La capacidad de los nuevos tanques de etanol permite tener más de 15 días de inventario de este combustible, en todo momento de las proyecciones de ventas 2019 – 2039, para un escenario de mezcla E10 en ambas gasolinas (véase la figura 5.2).

Figura 5.2 Días de inventario de etanol (por terminal) en El Alto, La Garita y Barranca, para el escenario de una mezcla E10, en ambas gasolinas²³



Fuente: Elaboración propia con datos de la Dirección de Planificación y la Gerencia de Desarrollo.

²³ En el caso de la terminal de Moín, ya se cuenta con tres tanques de 5 000 barriles (795 m³) cada uno, para el etanol que se mezclaría en este sitio. En 2039 (último año de la proyección de Planificación) esta capacidad de almacenamiento equivaldría a 56 días de inventario (con respecto a los requerimientos dicha terminal). Además, Moín cuenta con un tanque de 100 000 barriles (15 900 m³) para recibir etanol importado, en caso de ser necesario (caso contrario, se haría un cambio de uso para almacenar gasolina, ya que el etanol la sustituye parcialmente, por lo que no afecta el plan de expansión de almacenamiento). En 2037 se contaría con un almacenamiento de 35 días de inventario (con respecto a los requerimientos del país) para importar etanol por Moín, en lotes de unos 80 000 bbl. Estas estimaciones consideran que las mezclas se llevan a cabo en ambas gasolinas al 8%.

En las figuras 5.3, 5.4 y 5.5 se muestran los diagramas de implantación con los descargaderos de etanol, los tanques de etanol y las interconexiones, para las terminales de El Alto, La Garita y Barranca; respectivamente.

Figura 5.3 Diagrama de implantación de la terminal El Alto

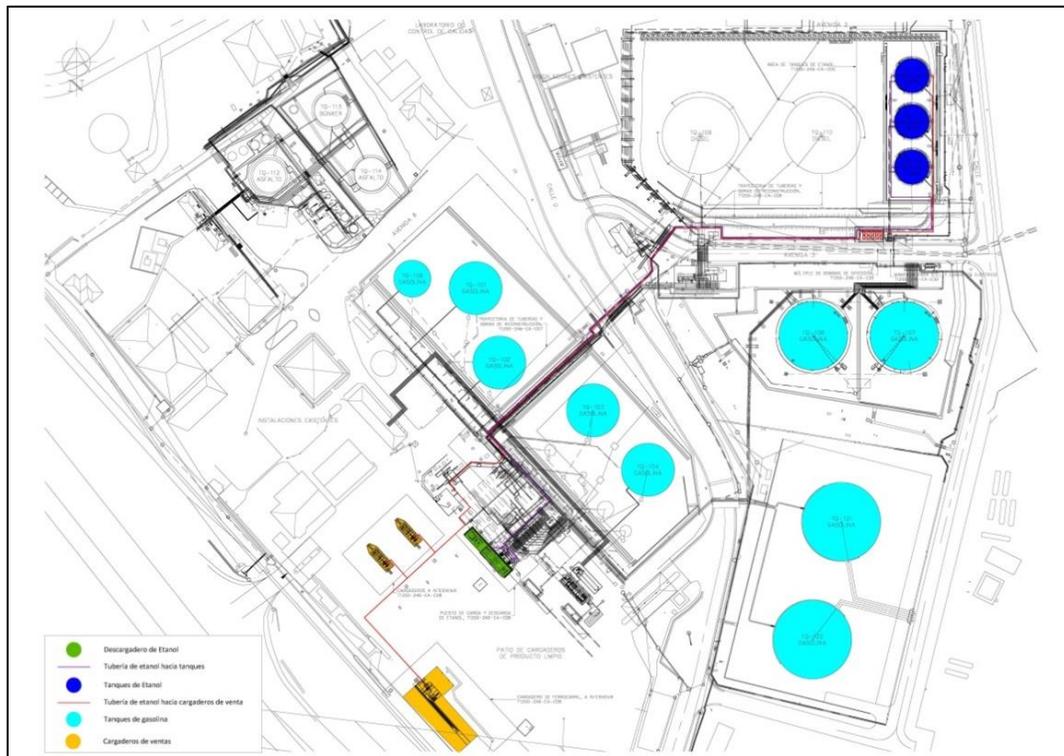


Figura 5.4 Diagrama de implantación de la terminal La Garita

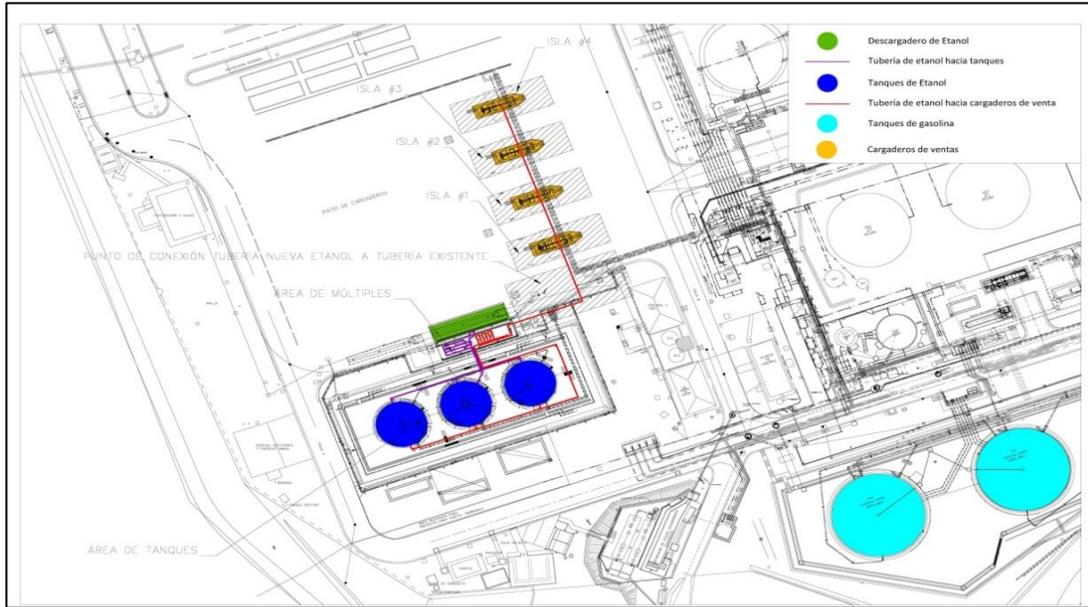
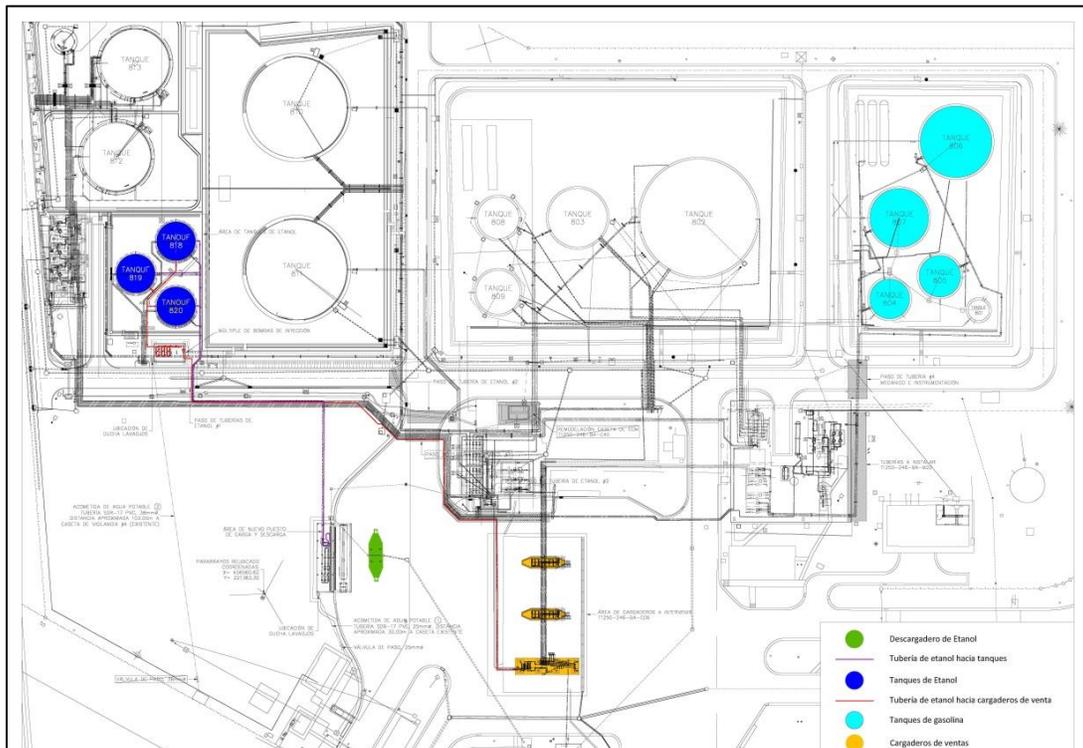


Figura 5.5 Diagrama de implantación de la terminal Barranca



5.4 Estimación de la inversión y de los costos operativos

Para estimar la inversión se utiliza la metodología descrita por Peters, Timmerhaus y West (2003, pp. 239 – 241). La asignación de los costos de cada componente se basa en la información de proyectos anteriores de la empresa (tanto de costos directos como indirectos).

Se estima que la inversión del proyecto es de 23,5 millones de dólares de 2018, con un margen de error de un $\pm 30\%$ (que corresponde a un estimado Clase III según AAICE). En los cuadros 5.3 y 5.4 se muestran los costos directos e indirectos que conforman la inversión.

Cuadro 5.3 Estimación de los costos directos (millones de dólares de 2018)

Costos directos	BA	LG	EA	Total
Tanque (instalado)	1,7	2,6	2,6	6,9
Instrumentación y control (instalados)	0,2	0,4	0,4	1,0
Tuberías (instaladas)	0,4	0,7	0,7	1,7
Sistemas eléctricos (instalados)	0,3	0,4	0,4	1,2
Obra civil adicional	1,0	1,6	1,6	4,2
Trabajos preliminares y adecuación de terrenos	0,2	0,4	0,4	0,9
Sistema contra incendios	0,1	0,2	0,2	0,5
Pruebas, entrenamiento, documentación	0,1	0,2	0,2	0,5
Contadores volumétricos		0,8		0,8
Total de costos directos	4,1	7,2	6,4	17,8

Fuente: Elaboración propia con datos de la Gerencia de Desarrollo.

Cuadro 5.4 Estimación de los costos indirectos (millones de dólares de 2018)

Costos indirectos	% costos directos	BA	LG	EA	Total
Administración y dirección	12%	0,5	0,8	0,8	2,1
Utilidad del contratista	7%	0,3	0,5	0,5	1,2
Gastos legales	1%	0,0	0,0	0,0	0,1
Otros	8%	0,4	0,6	0,6	1,5
Imprevistos	5%	0,2	0,3	0,3	0,9
Total de costos indirectos	33%	1,4	2,2	2,2	5,8

Fuente: *Elaboración propia con datos de la Gerencia de Desarrollo.*

6. ESTUDIO FINANCIERO

El proyecto evaluado en el presente estudio consiste en la construcción y puesta en marcha de un sistema para el mezclado de gasolina con etanol, a nivel nacional. Esto incluye dosificadores en los cargaderos de ventas de gasolinas, tanques, interconexiones e infraestructura auxiliar.

Durante los dos primeros años del programa, las mezclas se llevarán a cabo utilizando la infraestructura con la que RECOPE cuenta actualmente (mezclando en tanques)²⁴. A partir de 2022, la mezcla se realizará con el nuevo sistema de mezclado en línea (en los cargaderos). El nuevo sistema permitiría una mayor eficiencia y precisión en las operaciones.

Para efectos de evaluar el estudio, se considera que la construcción se llevará a cabo entre 2020 – 2021 y que la inversión se realizará con recursos propios (40% en el primer año de la construcción y el 60% restante en el segundo año). Además, se establece un horizonte de evaluación de 15 años: 2022 – 2036.

Se plantean dos escenarios a evaluar:

- 1. Realizar las mezclas con gasolinas base, como por ejemplo un RBOB (reformulated base oxygenate blendstock).**

Las gasolinas base se formulan para aprovechar el alto octanaje del etanol. Estas alcanzan el octanaje requerido una vez que se les adiciona cierta cantidad de etanol. Estas bases suelen tener un precio menor que el de las gasolinas terminadas; sin embargo, en ciertos momentos, debido a las fluctuaciones del mercado, podrían llegar a tener un precio mayor.

²⁴ Durante los dos primeros años del programa (2020 – 2021), la gasolina ECO95 se formularía a partir de una gasolina base compuesta de una mezcla de gasolina súper y gasolina plus 95. Por ejemplo, de acuerdo con estimaciones de la Gerencia de Operaciones, para lograr un E8 de ECO95 se requiere mezclar, aproximadamente: 46% de gasolina súper + 46% de gasolina plus 91 + 8% de etanol. Con esta mezcla se obtiene un combustible con un octanaje de 95.

Por otra parte, en el segundo semestre de 2021, la gasolina ECO91 se obtendría simplemente mezclando gasolina plus 91 con etanol. En este caso, se tendría una gasolina con un octanaje superior a 91; sin embargo, esta es la mejor opción desde el punto de vista operativo, porque no involucra el manejo de un tercer grado de gasolina sin etanol.

2. Realizar las mezclas con las mismas gasolinas que se comercializan actualmente en el país (gasolinas terminadas).

Este segundo escenario permite una mayor flexibilidad operativa al mezclado pero implica que se comercialicen gasolinas con octanajes superiores a los exigidos por las normas, lo cual tiene un costo (cada octano adicional tiene un costo asociado de 4 colones por litro, o 1 dólar por barril, aproximadamente).

6.1 Costos operativos

El programa de mezclas tiene asociados dos costos operativos: el transporte del etanol por medio de camiones cisterna y el mantenimiento de las instalaciones.

El costo del transporte terrestre del etanol se estima utilizando las fórmulas de ARESEP para el trasiego de producto limpio (gasolinas y diésel) por lo que esta parte del proceso lo estaría ejecutando un operador privado. Se asume el caso más crítico: importación de etanol por el Caribe y transporte en camiones cisterna a las demás terminales. A partir del escenario crítico se hace las estimaciones de ventas en cada terminal se calculan la cantidad de viajes por año (en camiones cisterna de 30 m³) se estiman los costos anuales (ver cuadro 6.1).

Cuadro 6.1 Costo de flete de los camiones cisterna (millones de dólares de 2018)

Terminal	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
El Alto	0,42	1,03	1,44	1,46	1,48	1,50	1,52	1,54
La Garita	0,58	1,36	1,84	1,87	1,90	1,93	1,96	1,99
Barranca	0,37	0,85	1,12	1,14	1,16	1,17	1,19	1,21
Terminal	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	
El Alto	1,56	1,58	1,60	1,62	1,65	1,67	1,69	
La Garita	2,01	2,04	2,07	2,10	2,13	2,16	2,19	
Barranca	1,23	1,25	1,27	1,28	1,30	1,32	1,34	

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con Peters, Timmerhaus y West (2003, p. 268), el mantenimiento anual de una planta industrial varía entre 2% y 10% de la inversión total. En este estudio se utiliza 2%, debido a que se trata de la modificación / ampliación de infraestructura existente y no se requiere la contratación de personal para mantenimiento.

6.2 Flujos de caja

En los cuadros 6.2 y 6.3 se muestran los flujos de caja para cada uno de los escenarios del proyecto de mezclado en línea.

Cuadro 6.2 Flujo de caja del escenario 1 (gasolina base) (millones de dólares constantes de 2018)

	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
Diferencial de precios	0,00	0,00	7,29	7,01	7,11	10,97	10,93	10,67	9,77
Trasiego etanol (cisternas)	0,00	0,00	-4,40	-4,47	-4,54	-4,60	-4,67	-4,74	-4,81
Inversión	-9,41	-14,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Valor de rescate	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mantenimiento	0,00	0,00	-0,47	-0,47	-0,47	-0,47	-0,47	-0,47	-0,47
TOTAL	-9,41	-14,12	2,42	2,07	2,10	5,90	5,79	5,46	4,49
	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	
Diferencial de precios	9,57	9,25	8,90	8,52	8,11	7,68	7,26	6,74	
Trasiego etanol (cisternas)	-4,87	-4,94	-5,01	-5,08	-5,14	-5,21	-5,28	-5,34	
Inversión	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Valor de rescate	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,56	
Mantenimiento	-0,47	-0,47	-0,47	-0,47	-0,47	-0,47	-0,47	-0,47	
TOTAL	4,22	3,84	3,43	2,97	2,49	2,00	1,52	15,48	

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 6.3 Flujo de caja del escenario 2 (gasolina terminada) (millones de dólares constantes de 2018)

	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
Diferencial de precios	0,00	0,00	3,51	3,25	3,37	7,25	7,22	6,99	6,10
Trasiego etanol (cisternas)	0,00	0,00	-4,40	-4,47	-4,54	-4,60	-4,67	-4,74	-4,81
Inversión	-9,41	-14,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Valor de rescate	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mantenimiento	0,00	0,00	-0,47	-0,47	-0,47	-0,47	-0,47	-0,47	-0,47
TOTAL	-9,41	-14,12	-1,36	-1,69	-1,64	2,18	2,08	1,78	0,83
	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	
Diferencial de precios	5,92	5,62	5,29	4,92	4,53	4,13	3,72	3,22	
Trasiego etanol (cisternas)	-4,87	-4,94	-5,01	-5,08	-5,14	-5,21	-5,28	-5,34	
Inversión	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Valor de rescate	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,56	
Mantenimiento	-0,47	-0,47	-0,47	-0,47	-0,47	-0,47	-0,47	-0,47	
TOTAL	0,57	0,21	-0,19	0,62	-1,08	-1,55	-2,02	11,96	

Fuente: Elaboración propia.

La primera línea de los flujos de caja corresponde a las ganancias (cuando son valores positivos) o pérdidas (cuando son valores negativos) por concepto de diferenciales de precios, a la hora de formular las gasolinas con etanol. También se incluyen los costos de trasiego del etanol en camiones cisterna, la inversión, el valor de rescate (al final del período de evaluación) y el mantenimiento. El valor de rescate resulta de restar 15 años de depreciación lineal a la inversión²⁵.

El escenario 1 es más favorable, debido al menor precio de las gasolinas base con respecto a las gasolinas terminadas. En el cuadro 6.4 se resumen los indicadores financieros, para una tasa de corte de 9,83%²⁶. Esta tasa permite exigir al proyecto un rendimiento competitivo desde una perspectiva privada.

²⁵ Para calcular la depreciación se utilizan las vidas útiles calculadas por el Consorcio PWC para RECOPE.

²⁶ La tasa de corte se calcula utilizando el Modelo de Valoración de Activos de Capital (CAPM). Debido a que el análisis financiero de este proyecto se realiza en dólares constantes de 2018, no se considera la inflación.

Cuadro 6.4 Indicadores financieros de ambos escenarios

	TIR	VAN (MM USD 2018)
Escenario 1	13,09%	6,7
Escenario 2	N/A	-21,5

Fuente: Elaboración propia.

6.3 Análisis de sensibilidad del VAN

El análisis de sensibilidad se lleva a cabo por medio de simulaciones de Montecarlo. Las variables de entrada son la inversión, el porcentaje de etanol y la variación del precio del etanol; la variable de salida es el VAN.

La inversión se varía en $\pm 30\%$, según la variación asociada a la estimación de costo capital. El porcentaje de etanol se varía entre 5% y 10% (con un valor más probable de 8%), de acuerdo con el intervalo definido para el programa. La variación en el precio de etanol se fija entre 95% y 106% de los precios de la proyección; basado en el mínimo y el máximo de los diferenciales con respecto a los precios de las gasolinas. En el cuadro 6.5 se resumen las variables de entrada, expresadas como variaciones con respecto al valor más probable (100% representa el valor más probable).

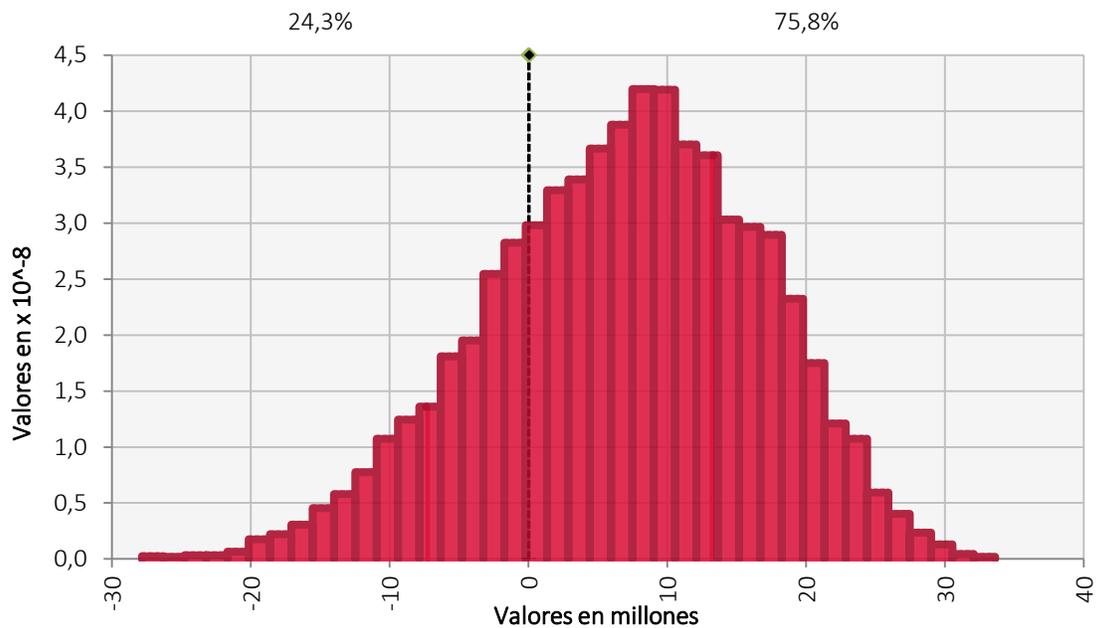
Cuadro 6.5 Variables de entrada para el análisis de sensibilidad

Variable	Distribución	Unidades	Mínimo	Más probable	Máximo
Inversión	Pert	\$	70,0%	100,0%	1,3
% Etanol	Pert	%	62,5%	100,0%	1,25
Variación - precio etanol	Pert	\$/bbl	95,0%	100,0%	1,06

Fuente: elaboración propia

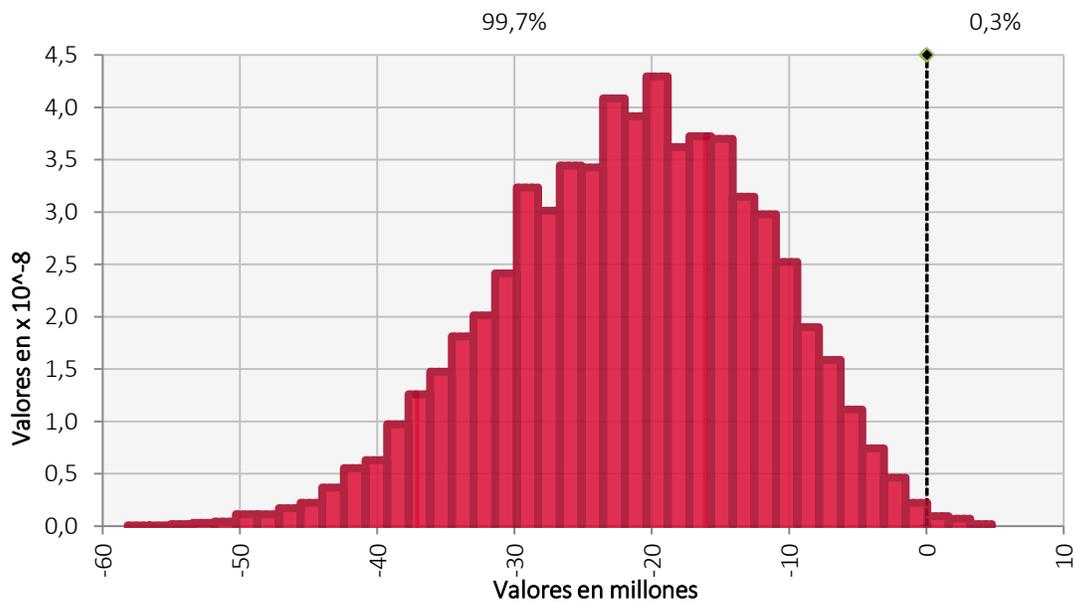
En las figuras 6.1 y 6.2 se muestran los análisis de sensibilidad para cada escenario.

Figura 6.1 Análisis de sensibilidad del VAN, para el escenario 1 (con gasolina base)



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.2 Análisis de sensibilidad del VAN, para el escenario 2 (con gasolina terminada)



Fuente: Elaboración propia.

En el escenario 1 (con gasolinas base), se tiene un 75,8% de probabilidad de que el VAN sea positivo, mientras que en el escenario 2 (con gasolina terminada) este porcentaje es solamente del 0,3%.

6.4 Impactos al consumidor

En los cuadros 6.6 y 6.7 se muestran los impactos al consumidor para cada uno de los escenarios²⁷.

Cuadro 6.6 Impacto al consumidor, para el escenario 1 (millones de dólares de 2018)

	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
Impacto al consumidor	1,7	1,4	1,4	5,2	5,2	4,8	3,9	3,6
	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	
Impacto al consumidor	3,2	2,8	2,4	1,9	1,4	1,0	14,9	

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 6.7 Impacto al consumidor, para el escenario 2 (millones de dólares de 2018)

	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
Impacto al consumidor	-2,1	-2,4	-2,3	1,5	1,4	1,1	0,2	0,0
	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	
Impacto al consumidor	-0,4	-0,8	-1,2	-1,7	-2,1	-2,6	11,4	

Fuente: Elaboración propia.

El impacto al consumidor incluye la depreciación, el mantenimiento, el rédito sobre la base tarifaria y el diferencial de precios asociado tanto a la sustitución de gasolina por etanol como el cambio de gasolina terminada a gasolina base, cuando aplica.

²⁷ En todo el estudio, se utiliza el tipo de cambio promedio para 2018, dado por el Banco Central para las operaciones con el sector público no bancario: 578,38 colones/dólar.

La tasa de corte para estimar el rédito sobre la base tarifaria (RSBT) es de 1,86%. Debido a que el análisis financiero de este proyecto se realiza en dólares constantes de 2018, no se considera la inflación. Tampoco apalancamiento alguno. La tasa de corte, por tratarse de un análisis de impacto al consumidor, considera conceptualmente el costo de oportunidad que establece ARESEP, que es la tasa básica pasiva. En este caso, al estar el flujo dolarizado en moneda constante y por ser una proyección de largo plazo, se utiliza la tasa de los bonos del tesoro de los Estados Unidos a 15 años plazo, restándole la inflación.

El escenario 1 es favorable para el consumidor ya que le representa un ahorro promedio de largo plazo de 1,10 colones por litro. Por otra parte, en el escenario 2 el consumidor deberá pagar en promedio a largo plazo 0,02 colones más por cada litro, lo cual significa un impacto neutro en el precio al considerar el margen de error propio de las estimaciones.

Finalmente, en el Anexo A se presentan algunas valoraciones de tipo socioeconómico asociados a la cadena agroindustrial, en caso de producción local, las cuales deben ser profundizadas por los entes gubernamentales competentes.

7. ASPECTOS AMBIENTALES

7.1 Reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero

La adición de etanol en las gasolinas conlleva una reducción en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), debido a que este biocombustible tiene un menor contenido de carbono que las gasolinas y, al ser un oxigenante, mejora la combustión. Por otra parte, la magnitud del beneficio ambiental depende, en gran medida, de las prácticas productivas y la materia prima de la cual se obtenga el etanol.

De acuerdo con la U.S. Environmental Protection Agency (EPA, 2018), el etanol producido a partir de maíz genera entre 48,4 y 110,9 toneladas métricas de CO₂e por TJ (entre 51,1 y 117 kg de CO₂e por millón de BTU) mientras que el etanol que se obtiene de la caña de azúcar genera entre 8,5 y 52 toneladas de CO₂e por TJ (entre 9 y 54,9 kg de CO₂e por millón de BTU)²⁸. Estas estimaciones contemplan todo el ciclo de vida del biocombustible, desde la siembra de las materias primas hasta su consumo.

Con el propósito de estimar el potencial que tiene el programa de etanol para reducir las emisiones de GEI, se reducen los intervalos dados por EPA a valores puntuales, que representen adecuadamente los posibles efectos ambientales, tanto para el etanol de maíz como el de caña de azúcar.

Para el caso del etanol de maíz, se utiliza la base de datos de Pira, con la información de las plantas de etanol en Estados Unidos. Las plantas se clasifican según la materia prima, el tipo de proceso (molienda seca, molienda húmeda, celulósica, etc.) y la fuente de energía utilizada en la planta (gas natural, biomasa, carbón, etc.). Luego, se calcula el promedio ponderado (según la capacidad de producción de cada planta) de las emisiones de GEI.

²⁸ La forma más conveniente de expresar las emisiones de GEI es mediante las unidades de dióxido de carbono equivalente (CO₂e). Esto consiste en equiparar todos los GEI (CO, CH₄, etc.) a CO₂, en conformidad con el potencial relativo que tiene cada uno de estos gases para calentar el planeta. De esta manera se tiene un solo dato, que refleja el efecto de calentamiento global asociado a una determinada emisión.

En el caso de aquellas plantas para las que no se tienen todos los datos se aplican criterios fundamentados en otra información disponible y buscando siempre realizar un cálculo conservador, es decir, prefiriendo siempre sobreestimar las emisiones asociadas al etanol antes de subestimarlas. A este respecto, los dos criterios más significativos son:

- Si no se conoce el proceso, se asume que es molienda seca. Con este criterio, las plantas de molienda seca representan el 91% de la producción. Esto es consistente con el dato aportado por Alternative Fuels Data Center (s.f.): “En Estados Unidos, alrededor del 90% de las plantas de etanol son de molienda seca, debido a que estas requieren una menor inversión”.
- Si no se conoce el combustible que utilizan las plantas de producción de etanol, se asume que es carbón; debido a que este es el más contaminante (se utiliza el caso crítico).

Con el análisis realizado se confirma que prácticamente todo el etanol que se produce en Estados Unidos proviene del maíz (99,9%). Por lo tanto, las emisiones generadas por el etanol de Estados Unidos se pueden equiparar a las emisiones asociadas al etanol obtenido a partir de maíz.

Se concluye que, en promedio, el etanol de maíz genera 82,6 toneladas métricas por TJ. Por otra parte, según la EPA, la gasolina genera 93,1 toneladas métricas de CO₂e por TJ. Por lo tanto, el uso de etanol de maíz conlleva una reducción de emisiones de GEI de 11% (si se sustituye cada TJ aportado por gasolina por un TJ aportado por etanol).

Para el etanol de caña de azúcar, se selecciona el valor de 37,9 toneladas métricas por TJ, reportado por EPA para el caso “No Trash, CBI, Marg. Elec.”²⁹. Se considera que este valor representa adecuadamente la generación de emisiones de GEI del etanol de caña de azúcar, tanto si es nacional como importado. Por lo tanto, el uso de etanol de caña de azúcar conlleva una reducción

²⁹ A continuación se explican cada uno de los tres factores considerados por EPA. *No Trash*: Durante la producción, los desechos orgánicos de la cosecha se dejan en el sitio como fertilizante. *CBI*: El país productor pertenece a la Iniciativa para la Cuenca del Caribe. *Marg. Elec.*: El consumo eléctrico de la planta es marginal.

de emisiones de GEI de 59% (si se sustituye cada TJ aportado por gasolina por un TJ aportado por etanol). Este valor es muy conservador.

Costa Rica exporta su etanol hacia Europa, que exige una reducción de emisiones de GEI de 71%. Los ingenios nacionales cuentan con certificaciones de la *International Sustainability and Carbon Certification* (ISCC) que constatan que el porcentaje de reducción es mayor al exigido por Europa³⁰.

ISCC considera que la biomasa sostenible es aquella que cumple con los siguientes principios:

1. Protección de tierras con un alto valor de biodiversidad o un alto contenido de carbono.
2. Producción responsable con el ambiente, para proteger el suelo, el agua y el aire.
3. Condiciones laborales seguras.
4. Cumplimiento con derechos humanos, laborales y territoriales.
5. Cumplimiento con leyes y tratados internacionales.
6. Buenas prácticas administrativas y mejoramiento continuo (ISCC, s.f.; traducción propia).

El cumplimiento de estos principios es necesario para obtener una certificación ISCC. Por medio de este tipo de mecanismos es posible mejorar la sostenibilidad de los biocombustibles, al mitigar sus posibles efectos negativos. De esta manera, se protege la biodiversidad, se mejora la calidad del aire, se garantizan buenas condiciones de trabajo para la agroindustria, etc.

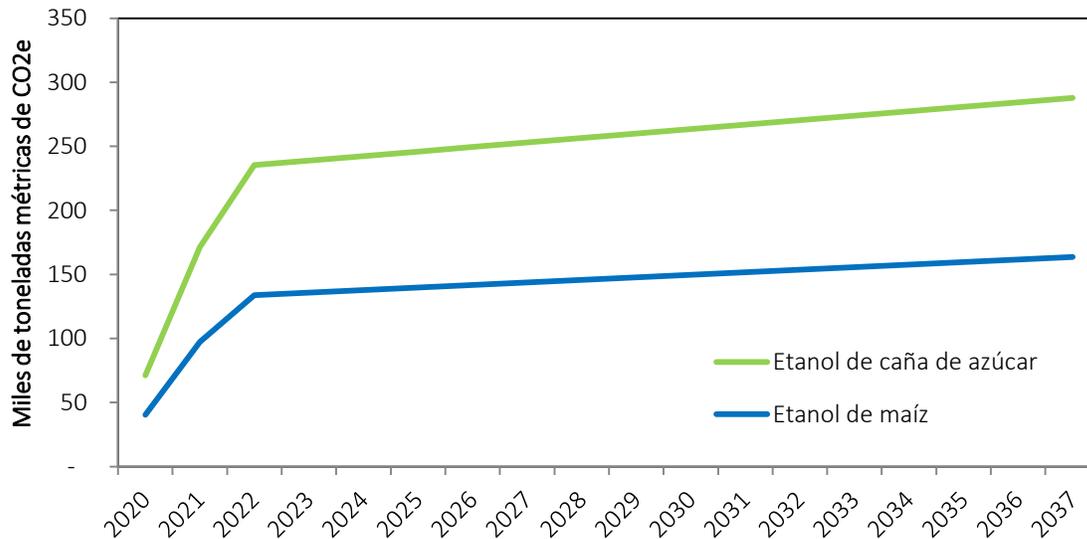
En términos volumétricos, el etanol de caña de azúcar genera 0,80 kg de CO₂e por cada litro y el etanol de maíz genera 1,74 kg de CO₂e por cada litro³¹.

En la figura 7.1 se muestra la estimación de las posibles reducciones de GEI que podría generar el programa de etanol.

³⁰ De acuerdo con una reunión sostenida con personal de una de las destilerías de Costa Rica, el cálculo más reciente de la ISCC arrojó que el etanol producido por esta destilería reduce las emisiones de GEI en 88,63%, con respecto a la gasolina.

³¹ Se utiliza el contenido energético dado por la Unión Europea (2018): 21 MJ/l.

Figura 7.1 Estimación de las posibles reducciones de GEI del programa de etanol



Fuente: Elaboración propia con datos de EPA (2018) y la Dirección de Planificación de RECOPE.

En las estimaciones de la figura anterior se considera una mezcla al 8% de etanol. Las proyecciones de ventas son las de la Dirección de Planificación de RECOPE. También se considera que la venta de gasolina ECO95 inicia el 28 de mayo de 2020 y la venta de ECO91 inicia el 23 de julio de 2021.

Nótese que el programa reduciría las emisiones de GEI, en todos los casos; tanto con etanol de maíz, como con etanol de caña de azúcar. Las estimaciones presentadas son valores conservadores, que podrían aumentar bajo ciertas condiciones.

7.1 Otros impactos ambientales del etanol

Además de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, la adición de etanol a las gasolinas tiene otras ventajas ambientales. Por ejemplo, el etanol sustituye al MTBE, el cual contamina los mantos acuíferos con mayor facilidad de que otros componentes de la gasolina (EPA, 2016).

Las emisiones de aldehídos han sido señaladas como una de las desventajas asociadas a la combustión del etanol, sin embargo, el uso de diésel automotriz puede ser una fuente más importante de aldehídos que las mezclas de gasolina con etanol. Las emisiones de aldehídos

(formaldehído + acetaldehído) asociadas al diésel pueden llegar a ser entre 5,6 y 40,2 veces más altas que las de una gasolina con 22% de etanol (Abrantes, 2003; citado en Goldemberg, Coelho & Guadarbassi, 2018, pp. 2 – 3).

De acuerdo con un estudio elaborado por el gobierno canadiense, la mezcla de gasolinas con 10% de etanol no tiene un impacto significativo sobre las concentraciones atmosféricas de gases perjudiciales para la salud, incluyendo ciudades con alta densidad vehicular (Canada Ministry of Health, 2010, p. 27).

7.2 Disposición y usos de la vinaza

La vinaza es un subproducto que se obtiene de la destilación del etanol. Esta representa un potencial riesgo para el ambiente si no se trata o dispone correctamente. Por ejemplo, el vertido de vinaza en cuerpos de agua es altamente contaminante³².

Sin embargo, la vinaza también tiene valor y, por lo tanto, es aprovechable. Entre sus posibles usos están: la fertirrigación³³, la producción de biogás, la combustión para producir energía, la producción de suplementos alimenticios, la formulación de sustratos para compost, la fabricación de ladrillos, la elaboración de agentes plastificantes de concretos reforzados, entre otros (García O & Rojas C, 2006, p.).

Prácticamente toda la vinaza que se produce en Brasil se utiliza para la fertirrigación de los suelos donde se siembra la caña de azúcar; de esta forma se aprovechan sus nutrientes y al mismo tiempo se irriga (Santos, Borém, & Caldas, 2015, p. 377). La aplicación de vinaza aumenta la productividad de los suelos en 5 – 10% (Santos, Borém, & Caldas, 2015, p. 377). Las destilerías de Costa Rica

³² De acuerdo con García y Rojas (2006), la vinaza con un contenido de sólidos de 10% m/m tiene un DQO de 116 000 mg/l y un DBO_{5,20} de 41 200 mg/l. Por otra parte, el “Reglamento de vertido y reuso de aguas residuales” establece que, para la “producción de alcohol etílico por fermentación de materiales varios” (CIU 15510b), el vertido en cuerpos receptores no debe superar un DQO de 1 000 mg/l y un DBO_{5,20} de 500 mg/l.

³³ Se le llama fertirrigación al proceso que combina fertilización con irrigación. El vertido de vinaza sobre el terreno donde se siembra la caña sirve para un doble propósito: fertilizar e irrigar el suelo.

también utilizan la vinaza para la fertirrigación de los suelos, lo que les permite aprovechar los nutrientes contenidos en este subproducto³⁴.

A propósito de la fertirrigación con vinaza, García y Rojas (2006, p. 3) afirman lo siguiente:

Puesto que su origen es la planta de caña, la vinaza está compuesta por materiales orgánicos y nutrientes minerales que hacen parte de compuestos y constituyentes vegetales como aminoácidos, proteínas, lípidos, ácidos diversos, enzimas, bases, ácidos nucleicos, clorofila, lignina, quinonas, ceras, azúcares, hormona. La naturaleza en forma normal descompone estos materiales en procesos microbiológicos y recicla los elementos minerales, lo que hace lógico pensar que el destino final de la vinaza deba ser su regreso al suelo.

En conclusión, la vinaza es un subproducto aprovechable que, si se utiliza apropiadamente, puede proporcionar beneficios significativos.

³⁴ De acuerdo con una reunión sostenida con personal de una de las destilerías de Costa Rica, se producen entre 9 y 10 litros de vinaza por litro de etanol. Esto representa 245 000 metros de vinaza al año, que se utilizan para la fertirrigación de 5 700 hectáreas, es decir, 43 m³/ha-año. De acuerdo con Santos, Borém, & Caldas (2015, p. 377), la dosis no debe superar los 100 – 150 m³/ha-año. Por lo tanto, la dosis utilizada es apropiada.

8. CONCLUSIONES

- Si las mezclas se llevan a cabo con gasolina base (tipo RBOB), el proyecto tiene una TIR de 13,09% y un VAN de 6,74 millones de dólares (con una tasa de descuento de 9,83%). Si las mezclas se llevan a cabo a partir de gasolina terminada, el proyecto tiene un VAN de -21,53 millones de dólares (con la misma tasa de descuento).
- Si las mezclas se llevan a cabo con gasolina base (tipo RBOB), el impacto al consumidor sería, en promedio, un ahorro promedio de largo plazo de 1,10 colones por litro. Si las mezclas se llevan a cabo a partir de gasolina terminada, el impacto al consumidor a largo plazo, sería, en promedio, un aumento de 0,02 colones por litro, lo cual dado los márgenes de error de las estimaciones, se considera un efecto neutro.
- El uso de etanol de maíz conlleva una reducción de emisiones de gases de efecto invernadero de 11% (sustituyendo cada TJ aportado por gasolina por un TJ aportado por etanol).
- El uso de etanol de caña de azúcar conlleva una reducción de emisiones de gases de efecto invernadero de 59% (sustituyendo cada TJ aportado por gasolina por un TJ aportado por etanol).
- Se estima que, una vez que el programa de etanol esté en completa vigencia (en 2022), se podría llegar a evitar, a nivel global, unas 235 000 toneladas métricas de CO₂e por año, si el etanol es de caña de azúcar; o unas 130 000 toneladas métricas de CO₂e equivalente por año, si es de maíz. Estas estimaciones consideran todo el ciclo de vida de los combustibles, desde la siembra de las materias primas hasta el consumo en los vehículos.
- Con respecto al efecto sobre el consumo de combustible asociado a la mezcla de gasolina con etanol, la investigación elaborada en el capítulo 3 sugiere que su impacto no es significativo desde el punto de vista estadístico y su efecto es marginal comparado con otros factores que sí afectan en gran medida su consumo.

- Para que el programa pase a una segunda fase con uso de etanol producido localmente, se recomienda que el gobierno establezca una serie de políticas públicas que manden señales claras al sector privado en materia de precios de compra, calidad, requisitos ambientales de desempeño y duración de los contratos a largo plazo, de forma que los inversionistas puedan valorar los riesgos de la cadena de suministro y tomar adecuadamente sus decisiones de inversión.

9. RECOMENDACIONES

- Realizar las mezclas a partir de gasolinas base (tipo RBOB), en lugar de utilizar gasolina terminada, monitoreando permanentemente las condiciones de mercado.
- Dar seguimiento constante al mercado de etanol brasileño, el cual puede ofrecer condiciones más ventajosas en el mediano plazo que el de origen estadounidense.
- Compartir los resultados de este estudio con el MINAE (Ente Rector de RECOPE), MAG, MEIC, MS con el objeto de que se contribuya a sentar las bases del programa nacional de uso de etanol en las gasolinas, con los estudios complementarios correspondientes a nivel económico, social y ambiental, en cuenta el eslabón agroindustrial de la cadena de suministro en caso de producción local de etanol.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Agency for Toxic Substances & Disease Registry. (2015). Toxic Substances Portal - Methyl tert-Butyl Ether (MTBE). Obtenido de <https://www.atsdr.cdc.gov/phs/phs.asp?id=226&tid=41>
- Alternative Fuels Data Center. (s.f.). Ethanol Production and Distribution. Obtenido de https://afdc.energy.gov/fuels/ethanol_production.html
- API. (2010). API recommended practice 1626: Storing and Handling Ethanol and Gasoline-ethanol Blends at Distribution Terminals and Filling Stations (Segunda ed.).
- Asocaña. (2018). Anexo Estadístico del Informe anual de Asocaña 2016-2017. Obtenido de <https://www.asocana.org/modules/documentos/14144.aspx>
- Belincanta, J., Alchorne, J. A., & Teixeira da Silva, M. (2016). The brazilian experience with ethanol fuel: aspects of the production, use, quality and distribution logistics. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 33(4), 1091 - 1102.
- Bioenergy Australia. (2016). Ethanol use around the world. Obtenido de <http://biofuelsassociation.com.au/biofuels/ethanol/ethanol-use-around-the-world/>
- Biofuel.org.uk. (2010). Biofuels: The fuel of the future. Obtenido de <http://biofuel.org.uk/National-Fuel-Alcohol-Program.html>
- Cardona, C., Sánchez, Ó., & Gutiérrez, L. (2010). *Process Synthesis for Fuel Ethanol Production*. Boca Ratón: CRC Press.
- Catsa. (2019). Obtenido de <https://www.catsa.net/>
- COMEX (11 de junio de 2014). Costa Rica continúa proceso contra Estados Unidos para defender exportaciones de etanol. Obtenido de <http://www.comex.go.cr/sala-de-prensa/comunicados/2014/junio/costa-rica-contin%C3%BAa-proceso-contra-estados-unidos/>

CONCAWE (2013). Assessment of the impact of ethanol content in gasoline on fuel consumption, including a literature review up to 2006.

Congreso de los Estados Unidos. (2005). Energy Policy Act of 2005. Obtenido de <https://www.govinfo.gov/content/pkg/PLAW-109publ58/pdf/PLAW-109publ58.pdf>

Congreso de los Estados Unidos. (2007). Energy Independence and Security Act of 2007. Obtenido de <https://www.govinfo.gov/content/pkg/PLAW-110publ140/pdf/PLAW-110publ140.pdf>

Constitución política de la república de Costa Rica. (1949). Obtenido de http://www.pgrweb.go.cr/scij/busqueda/normativa/normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=871&strTipM=TC.

Del Valle Ríos, F. (2012). La producción de bioetanol como un aporte al desarrollo económico de la provincia de Tucumán. Obtenido de <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-ub-tesis-produccion-bioetanol-y-su-incidencia-eco.pdf>

Dias, M., Filho, R., Mantelatto, P., Cavalett, O., Rossell, C., Bonomi, A., y otros. (2015). Sugarcane processing for ethanol and sugar. *Environmental Development*, 15, 35–51.

EIA. (2018). Biofuels: Ethanol and Biodiésel Explained. Obtenido de https://www.eia.gov/energyexplained/index.php?page=biofuel_ethanol_home

EIA. (2019a). Alternative Fuel Vehicle Data. Obtenido de <https://www.eia.gov/renewable/afv/users.php?fs=a&ufueltype=E85>

EIA. (2019b). Total Energy: Monthly Energy Review. Obtenido de <https://www.eia.gov/totalenergy/data/monthly/index.php#renewable>

EIA. (2019c). International Energy Statistics: Total Primary Energy Production. Obtenido de <https://www.eia.gov/beta/international/data/browser>

EIA. (2019d). New EPA ruling expands sale of 15% ethanol blended motor gasoline. Obtenido de <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=40095>

Emol. (2015). Brasil aumenta la mezcla obligatoria de etanol a la gasolina hasta el 27%. Obtenido de <https://www.emol.com/noticias/economia/2015/03/05/706595/brasil-aumenta-la-mezcla-obligatoria-de-etanol-a-la-gasolina-hasta-en-un-27-por-crisis-del-azucar.html>

EPA. (2016). Methyl Tertiary Butyl Ether (MTBE). Obtenido de <https://archive.epa.gov/mtbe/web/html/water.html>

EPA. (2017a). Ethanol Waivers (E15 and E10). Obtenido de <https://www.epa.gov/gasoline-standards/ethanol-waivers-e15-and-e10>

EPA. (2017b). Overview for Renewable Fuel Standard. Obtenido de <https://www.epa.gov/renewable-fuel-standard-program/overview-renewable-fuel-standard>

EPA. (2018). Lifecycle Greenhouse Gas Results. Obtenido de <https://www.epa.gov/fuels-registration-reporting-and-compliance-help/lifecycle-greenhouse-gas-results>

EPA. (2019). EPA Delivers On President Trump's Promise To Allow Year-Round Sale Of E15 Gasoline And Improve Transparency In Renewable Fuel Markets. Obtenido de <https://www.epa.gov/newsreleases/epa-delivers-president-trumps-promise-allow-year-round-sale-e15-gasoline-and-improve>

Fisher Scientific. (2003). Ethanol Material Safety Data Sheet. Obtenido de <https://fscimage.fishersci.com/msds/89308.htm>

García O, Á., & Rojas C, C. A. (2006). Posibilidades de uso de la vinaza en la agricultura de acuerdo con su modo de acción en los suelos. *Tecnicaña*, 10(17), 3-13.

Growth Energy. (8 de agosto de 2019). E15 Rapidly Moving into the Marketplace. Obtenido de <https://growthenergy.org/wp-content/uploads/2019/08/ptp-progress-1826-2019-08-08.pdf>

INEC. (31 de octubre de 2019). Desempleo nacional se sitúa en 11,4%. Obtenido de <http://inec.cr/noticia/desempleo-nacional-se-situa-en-114>

ISCC. (s.f.). Certificates. Disponible en <https://www.iscc-system.org/>

La Nación. (8 de marzo de 2014). Costa Rica protesta ante Estados Unidos por cambios en cuota de etanol. Obtenido de <https://www.nacion.com/economia/agro/costa-rica-protesta-ante-estados-unidos-por-cambios-en-cuota-de-etanol/NF6JOC6JPZAHTHGWWCBDOIUWJA/story/>

LAICA. (2018a). Centro de operaciones Punta Morales. Obtenido de https://www.laica.co.cr/centro_morales.php

LAICA. (2018b). Resultado de la zafra 2016 - 2017. Obtenido de <https://www.laica.co.cr/biblioteca/servlet/DownloadServlet?c=443&s=1777&d=39239>

MAG-MINAE. (2008). Programa Nacional de Biocombustibles. Obtenido de <https://sepse.go.cr/documentos/Programa%20Nacional%20de%20Biocombustibles.pdf>

Mata Segreda, J. F. (2 de octubre de 2018). Cien años de etanol carburante en Costa Rica. Obtenido de <https://semanariouniversidad.com/opinion/cien-anos-de-etanol-carburante-en-costa-rica/>

MIDEPLAN. (2010). Plan Nacional de Desarrollo 2011 - 2014. Obtenido de <http://www.documentos.una.ac.cr/bitstream/handle/unadocs/1591/PND-2011-2014-Maria-Teresa-Obregon-Zamora%5B1%5D.501.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

MIDEPLAN. (2014). Plan Nacional de Desarrollo 2015 - 2018. Obtenido de <https://app.box.com/v/pnd2015>

MIDEPLAN. (2018). Plan Nacional de Desarrollo 2019 - 2022. Obtenido de <https://observatorioplanificacion.cepal.org/sites/default/files/plan/files/Costa%20Rica%20PND%20%202019-2022.pdf>

MINAE. (2010). Reglamento de vertido y reuso de aguas residuales N° 33601. Obtenido de: http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?para_m1=NRTC&nValor1=1&nValor2=59524&nValor3=83250&strTipM=TC

MINAE-MAG (2016). Reglamento de Biocombustibles líquidos y sus mezclas N° 40050. Obtenido de http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=83579&nValor3=107514

MINAE. (2015). VII Plan Nacional de Energía 2015 -2030. Obtenido de <https://minae.go.cr/recursos/2015/pdf/VII-PNE.pdf>

MINAE. (2017). Estrategia nacional de bioenergía y su plan de acción.

MINAE. (s.f.). Plan de Acción de la Estrategia Nacional de Cambio Climático. Obtenido de <https://www.uned.ac.cr/extension/images/ifcmdl/amas/recursos/cambio-climatico/plan-de-accion-estrategia-nacional-cambio-climatico.pdf>

MINAE-IMN. (2012). Inventario nacional de gases de efecto invernadero. Obtenido de <https://unfccc.int/resource/docs/natc/crinir2.pdf>

Montoya Rodriguez, M., & Quintero Suárez, J. (2005). Esquema tecnológico integral de la producción de bioetanol carburante. Manizales: Universidad Nacional de Colombia.

Naciones Unidas. (2015). Objetivos de Desarrollo Sostenible. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

NASA. (2019). Global Climate Change: Vital Signs of the Planet. Obtenido de <https://climate.nasa.gov/>

Peters, M. S., Timmerhaus, K. D., & West, R. E. (2003). Plant Design and Economics for Chemical Engineers. New York: McGraw-Hill.

Presidencia de la República de Costa Rica. (5 de octubre de 2018). Fuente eólica se convierte en la segunda en aporte después del agua, al igual que en 2017. Obtenido de <https://presidencia.go.cr/comunicados/2018/10/costa-rica-supera-98-de-generacion-electrica-renovable-por-cuarto-ano-consecutivo/>

- Renewable Fuels Association. (2019). Annual Fuel Ethanol Production. Obtenido de <https://ethanolrfa.org/statistics/annual-ethanol-production/>
- RFA. (2019). Annual Fuel Ethanol Production: U.S. and World Ethanol Production. Obtenido de <https://ethanolrfa.org/statistics/annual-ethanol-production/>
- RTCA 75.02.46:07. (2007). Reglamento técnico centroamericano. Biocombustibles. Etanol carburante anhidro y etanol carburante anhidro desnaturalizado y sus mezclas con gasolina. Especificaciones. Obtenido de <http://estadisticas.cne.gob.sv/wp-content/uploads/2017/08/rtca-75.02.46.07-etanol-especificaciones.pdf>
- Santos, F., Borém, A., & Caldas, C. (Edits.). (2015). Sugarcane: Agricultural Production, Bioenergy, and Ethanol. London: Elsevier.
- Semanario Universidad. (1 de febrero de 2019). Costa Rica registra su mayor desempleo de la década: 12%. Obtenido de <https://semanariouniversidad.com/ultima-hora/costa-rica-registra-su-mayor-desempleo-de-la-decada-12/>
- SEPSE. (2018). Balances energéticos. Obtenido de <https://sepse.go.cr/ciena/balances-energeticos/#1511382363486-4ba63aa9-829b>
- Taboga. (2019). Obtenido de <http://www.taboga.co.cr/>
- ThoughtCo (2019). Understanding the Ethanol Subsidy: How the Federal Government's Primary Ethanol Subsidy Works. Obtenido de <https://www.thoughtco.com/understanding-the-ethanol-subsidy-3321701>
- Truyen, P., Tuyen, P., Tuan, P., & Tuan, L. (2012). Influence of E10, E15 AND E20 fuels on performance and emissions of in-use gasoline passenger cars. ASEAN Engineering Journal Part C, 4(2), 33-40.
- U.S. Department of Energy. (s.f.). Alternative Fuels Data Center. Obtenido de <https://afdc.energy.gov/>

U.S. Department of Energy. (2020). Fuel Economy. Obtenido de <https://www.fueleconomy.gov/feg/esIndex.shtml>

UNICA. (s.f.). UnicaData. Recuperado el 1 de julio de 2019

Unión Europea. (2018). Directiva (UE) 2018/2001 del parlamento europeo y del consejo. Obtenido de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001&from=EN>

Water, Air and Climate Change Bureau Healthy Environments and Consumer Safety Branch of Canada Ministry of Health. (2010). Health Risks and Benefits Associated with the Use of 10% Ethanol-blended Gasoline in Canada.

ANEXO A. CONSIDERACIONES SOCIOECONÓMICAS

Bajo el escenario de adición de 8% de etanol en ambas gasolinas, en 2022³⁵ se requieren 108 millones de litros de etanol (108 000 metros cúbicos). En 2039, último año de la proyecciones de planificación, se requieren 135 millones de litros de etanol (135 000 metros cúbicos).

A.1 Situación actual de la industria nacional de etanol carburante

La cadena de producción costarricense de caña de azúcar está orientada hacia la obtención de azúcar. La melaza residual tiene diversos propósitos, entre ellos la producción de etanol. En términos de masa, la melaza representa aproximadamente el 30% de la producción y el azúcar alrededor de 70%.

Costa Rica produce alrededor de 45 millones de litros de etanol por año (45 000 metros cúbicos). Este etanol se obtiene a partir de la melaza (subproducto de la producción de azúcar).

El país tiene una capacidad de destilación de alrededor de 75 millones de litros por año (75 000 metros cúbicos) (entre los ingenios Catsa y Taboga).

Costa Rica tiene alrededor de 65 000 hectáreas sembradas de caña de azúcar. A partir de esta área se producen cerca de 450 000 toneladas de azúcar por año (según la zafra 2016 – 2018).

Se estima que el sector cañero emplea unos 25 000 trabajadores directos, los que a su vez inciden en unos 100 000 empleos indirectos (según conversaciones con FEDECAÑA).

De acuerdo a conversaciones con personal del MAG, el país tiene el potencial de expandir el cultivo de caña entre 30 000 y 60 000 ha adicionales.

Para abastecer la demanda nacional en su totalidad, es necesario sembrar más caña de azúcar y aumentar la capacidad de destilación.

³⁵ Se utiliza el 2022 como referencia, debido a este es el primer año en que se adiciona etanol a ambas gasolinas.

A.2 Identificación de la mejor ruta para que el país produzca etanol carburante

Utilizar el esquema de producción actual orientado hacia la producción de azúcar y la obtención de etanol carburante a partir de la melaza, significaría ampliar el área de siembra de caña de azúcar desde 65 000 hectáreas actuales hasta 200 000 hectáreas. Por lo tanto, esta opción no es viable, tanto por indisponibilidades de tierras, como por el exceso de producción de azúcar.

La ruta más adecuada para producir el etanol carburante que requiere el país es aquella que minimiza el área de siembra adicional, a la vez que mantiene la producción de azúcar y genera beneficios socioeconómicos al país (como la creación de nuevos puestos de trabajo).

La opción más viable es utilizar todo el etanol que se produce a partir de la melaza, como subproducto de la industria azucarera y, adicionalmente, sembrar más caña de azúcar orientada exclusivamente a la producción de etanol³⁶. Bajo este escenario se requerirían 14 800 hectáreas adicionales de caña de azúcar para cubrir la demanda a 2039.

En 2039, para producir la cantidad de etanol requerida es necesario aumentar la capacidad de destilación, desde 75 millones de litros por año (75 000 metros cúbicos) hasta 135 millones de litros por año (135 000 metros cúbicos). Esto representa una capacidad de destilación adicional de unos 230 metros cúbicos por día, lo cual está dentro del rango de las plantas convencionales de este tipo (de acuerdo a datos de PIRA).

La vinaza obtenida como subproducto se puede utilizar como fertilizante en un área de aproximadamente 6 000 hectáreas, con una aplicación de 150 metros cúbicos por hectárea, según parámetros indicados en la literatura (Santos, Borém, & Caldas, 2015, p. 78).

A.3 Posible generación de empleo

Con la siembra de caña de azúcar adicional (para llegar a 14 800 hectáreas más, en 2039), cada año se podrían generar alrededor de 100 empleos directos y 400 empleos indirectos.

³⁶ Esta opción no afecta la seguridad alimentaria. Ni disminuye la producción, ni genera excesos.

A.4 Referencia

Santos, F., Borém, A., & Caldas, C. (Edits.). (2015). Sugarcane: Agricultural Production, Bioenergy, and Ethanol. London: Elsevier.

