RECOPE

Análisis del Proyecto Gasolina con Etanol
(Primer informe de avance)

Gerencia de Innovación

14 de enero de 2023

Resumen Ejecutivo

El presente informe se prepara con el fin de generar información técnica inicial que sustente las iniciativas del Poder Ejecutivo en torno al proyecto de introducción de mezclas de gasolina con etanol en la matriz energética nacional.

La iniciativa tiene un sustento dentro del Plan Nacional de Desarrollo 2023-2026 (PND), en el cual el Poder Ejecutivo definió una meta para la introducción de gasolina mezclada con etanol en el mercado nacional de combustibles, con el fin de contribuir con la descarbonización de la matriz energética mediante la introducción de fuentes de energía más bajas en carbono.

Para el cumplimiento de esa meta, RECOPE debe adecuar sus procesos de importación, almacenamiento y venta de combustibles, para estar en condiciones de ofrecer a sus clientes las mezclas de gasolina con etanol, en los porcentajes y calidades que establezca el MINAE.

En el presente informe se sistematizan los primeros análisis base que se realizan durante la actual administración para generar la información técnica y financiera necesaria para ejecutar el mencionado proyecto. A continuación, el detalle:

- Un análisis de mercado preliminar, a partir del cual se identifican y se caracterizan las fuentes de abastecimiento de etanol, los tipos de etanol que se pueden llegar a adquirir, y estimaciones de precios de importación de etanol y de gasolinas base para las mezclas.
- La determinación de los requerimientos de modificación de la infraestructura existente de RECOPE en las terminales, para que estén en capacidad de suministrar mezclas de gasolinas con etanol, y la estimación preliminar del costo de tales adaptaciones.
- La estimación de la reducción en emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) asociadas a la incorporación de mezclas con etanol.
- Un análisis financiero retrospectivo para el periodo 2013-2021, mediante el cual se estima el beneficio para el consumidor de adquirir una mezcla de gasolina con etanol que sustituya la Gasolina Superior (RON 95).

El haber incluido en este informe un análisis financiero de carácter retrospectivo responde a dos razones: a) la información generada resulta de utilidad con fines de comunicación a la opinión pública y a distintos actores relevantes acerca de los beneficios esperables del proyecto, y b) en el momento

de elaborar el informe, no se contaba aún con las proyecciones de precios y demanda requeridas para efectuar un análisis prospectivo.

Dentro de las principales conclusiones se encuentran las siguientes:

- Históricamente el mercado de referencia de Estados Unidos es el que presenta un precio más bajo para el etanol.
- En la actualidad la infraestructura de las terminales de almacenamiento y venta de RECOPE requiere de algunas adecuaciones para poder llevar a cabo la mezcla de gasolina con etanol, cuyo costo asciende a 4.5 millones de dólares aproximadamente.
- En una primera etapa se podrá llevar a cabo la formulación de gasolina con etanol en las terminales de almacenamiento y venta de RECOPE a partir del proceso de mezcla en tanques, a excepción de la Terminal Moín, la cual podrá llevar a cabo dicha formulación mediante el sistema de mezclado en línea. Para etapas posteriores, se podrán realizar análisis para establecer la conveniencia de adecuar las otras terminales, con el fin de que puedan formular las mezclas en línea.
- Con base en datos de RITEVE del 2020 y las premisas del estudio NREL del 2021, se estima que a) la totalidad del parque vehicular del país que consume gasolina tiene una alta probabilidad de ser compatible con E10; b) cerca de dos terceras partes de ese parque vehicular, que corresponde a unidades fabricadas en 1997 o en años posteriores, tienen una alta probabilidad de ser compatible con E15; y c) casi el 30% de ese parque vehicular, correspondiente a unidades fabricadas en 2009 o en años posteriores, tienen una alta probabilidad de ser compatible con E20.
- El uso de etanol contribuye a una disminución en las emisiones anuales asociadas al uso del combustible. En el caso del etanol derivado de maíz, si el país hubiera utilizado una mezcla con 10% de etanol (E10) entre el 2013 y el 2021, la disminución promedio anual de las emisiones hubiera sido de 72 900 TM de CO2e por año. Si en el mismo período se hubiera utilizado etanol derivado de caña de azúcar, se hubiera alcanzado una reducción de 128 000 TM de CO2e. Esas estimaciones comprenden todo el ciclo de vida del producto ("del pozo a la rueda").

- Si se considera únicamente el proceso de combustión ("del tanque a la rueda"), una mezcla E10 de etanol derivado de maíz hubiese generado una reducción anual promedio de emisiones de 43 650 TM de CO2e entre el 2013 y el 2021.
- Si la gasolina RON 95 hubiera contenido un 10% de etanol durante el período 2013 – 2021, se habría podido tener una disminución en el precio, aproximada, entre 3 y 12 colones por litro, dependiendo del escenario, siendo el más favorable la mezcla de Gasolina Plus 91 con etanol de maíz.

Las recomendaciones que se plantean son:

- Que se promulgue el decreto que establezca la obligatoriedad de las especificaciones de calidad para las mezclas de etanol en gasolinas (INTE E1:2016) y de las especificaciones para el etanol carburante (INTE E5:2017), así como la directriz que define el porcentaje de mezcla en las gasolinas.
- Que el proyecto de mezcla de gasolinas con etanol considere la compra del etanol con menor precio en el momento de la adquisición, independientemente del origen. Adicionalmente, que, en igualdad de precio, se adquiera el etanol nacional; y que, en igualdad de precio, se adquiera el etanol con menores emisiones de GEI.
- Que como la estrategia de incorporar gasolinas con etanol a nivel nacional inicie en solamente Gasolina Superior para favorecer la creación de confianza del consumidos en el uso de mezclas, porque al dejarse abierta la opción de que los vehículos más antiguos sigan utilizando Gasolina Plus 91, se puede contribuir a reducir la resistencia al uso de estas mezclas.

Contenido

1. Introducción 7
2. Antecedentes 9
2.1. En el país 9
2.2. En el mundo 12
3. Marco metodológico 16
3.1. Orientaciones de política pública aplicables al proyecto 16
3.2. Objetivo general de RECOPE 16
3.3. Objetivos específicos de RECOPE 17
3.4. Alcance del presente informe 17
3.5. Criterio de política pública propuesto 17
3.6. Metodología 18
4. Estudio de mercado 19
4.1. Producción internacional de etanol. 19
4.2. Mercado del etanol en Estados Unidos y Brasil 21
4.3. Mercado internacional del etanol costarricense 28
4.4. Comparación de precios de materias primas 30
5. Estudio técnico 33
5.1. Análisis sobre el etanol carburante 33
5.2. Tipos de gasolina que pueden ser empleadas en las mezclas 39
5.3. Proceso de importación, almacenamiento, mezcla y venta de las mezclas 40
5.4. Gastos asociados al acondicionamiento de la infraestructura 48
5.5. Estimación de emisiones de GEI 50
6. Estudio financiero 53
7. Conclusiones 57

8. Recomendaciones 59
9. Referencias bibliográficas 60
10. Responsables 63

1. Introducción

Con el presente análisis se busca proveer un sustento técnico inicial para el proyecto de mezclas de gasolina con etanol que propone el MINAE, el cual encuentra sustento dentro del Plan Nacional de Desarrollo 2023-2026. En este plan, se definió una meta para la introducción de dicha mezcla en el mercado nacional de combustibles, con el fin de contribuir con la descarbonización de la matriz energética nacional mediante la introducción de combustibles con menores emisiones de carbono.

En su condición de operador principal del sector de combustibles, RECOPE tiene la responsabilidad de adecuar sus procesos de importación, almacenamiento y venta de combustibles, para estar en capacidad de ofrecer a sus clientes las mezclas de gasolina con etanol, en los porcentajes y calidades que establezca el MINAE.

Los principales análisis expuestos en este informe son los siguientes:

- Un análisis de mercado preliminar, a partir del cual se identifican y se caracterizan las fuentes de abastecimiento de etanol, los tipos de etanol que se pueden llegar a adquirir, y estimaciones de precios de importación de etanol y de gasolinas base para las mezclas.
- La determinación de los requerimientos de modificación de la infraestructura existente de RECOPE en las terminales, para que estén en capacidad de suministrar mezclas de gasolinas con etanol, y la estimación preliminar del costo de tales adecuaciones.
- La estimación de la reducción en emisiones de GEI asociadas a la incorporación de mezclas con etanol.
- Un análisis financiero retrospectivo para el periodo 2013-2021, mediante el cual se estima el beneficio para el consumidor de adquirir una mezcla de gasolina con etanol que sustituya la Gasolina Superior (RON 95).

El haber incluido en este informe un análisis financiero de carácter retrospectivo responde a dos razones: a) la información generada resulta de utilidad con fines de comunicación a la opinión pública y a distintos actores relevantes acerca de los beneficios esperables del proyecto, y b) en el momento de elaborar el informe, no se contaba aún con las proyecciones de precios y demanda requeridas para efectuar un análisis prospectivo.

El documento está estructurado en nueve secciones. En la Sección 2 se realiza una recopilación de antecedentes y en la Sección 3 se abarca el marco metodológico empleado. A partir de la Sección 4 inician los análisis con el estudio de mercado, el estudio técnico se desarrolla en la Sección 5 y en la Sección 6 se presentan los análisis financieros. En las siguientes secciones se incluyen las conclusiones y recomendaciones, con las que se cierra el informe.

2. Antecedentes

2.1. En el país

En este apartado se mencionan los principales hechos relacionados con los esfuerzos realizados en años anteriores por introducir las mezclas de gasolina con etanol como combustibles, en el mercado nacional.

Primera experiencia de venta de mezclas (1981-1982)

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).

Según MAG-MINAE (2008, pp. 15-16), las ventas de gasolina con etanol se detuvieron por diversas razones, entre las que se citan:

a) falta de información correcta al consumidor,

b) limitaciones en la infraestructura de distribución disponible,

c) insuficiente cobertura del proyecto y

d) problemas en el manejo del producto.

Según Mata-Segreda (2018), la iniciativa se canceló luego de la normalización del mercado internacional del petróleo. Dado que esta iniciativa surgió 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.

Plan piloto en Terminal Barranca (2005)

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, pp. 16-17).

El año siguiente, se inició el plan piloto de mezcla de Gasolina Plus 91 con etanol en la Terminal Barranca. 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. Este plan piloto se dio por

concluido, a raíz del cierre de la refinería en 2011, debido a limitaciones en las operaciones de mezclado de RECOPE.

Programa Nacional de Biocombustibles (2008)

En 2008, se publicó el Programa Nacional de Biocombustibles, elaborado por MAG y MINAE, que contiene acciones orientadas a promover las mezclas de gasolina con etanol. Dicho programa contempla el análisis del contexto energético internacional y nacional, del uso de suelos en el país, de la infraestructura disponible para la producción de biocombustibles, de las políticas de desarrollo y de las estrategias de implementación, entre otros aspectos.

Nuevas especificaciones para mezclas con etanol (2016-2017)

Las nuevas especificaciones para las gasolinas (INTE E1:2016), publicadas en 2016, vinieron a solventar las limitaciones para dosificar mezclas que se presentaron en 2005 y a posibilitar nuevamente la implementación de gasolina con etanol a nivel nacional. Además, en 2017 se publicó INTE E5:2017, que contiene las especificaciones para el etanol carburante. Esta norma fue sometida a una consulta ante la Organización Mundial de Comercio (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.

Reglamento de Combustibles Líquidos y sus Mezclas (2016)

En noviembre de 2016, se decretó el nuevo Reglamento de Biocombustibles Líquidos y sus Mezclas (Decreto ejecutivo N° 40050-MINAE-MAG), 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).

Estudios de preinversión sobre mezclas de gasolina con etanol (2014-2020)

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.

En 2020, RECOPE elaboró un estudio de factibilidad para el proyecto de mezcla de gasolina con etanol, que consiste en una actualización y profundización del estudio de prefactibilidad anterior.

Promoción del proyecto de gasolina con etanol en la Administración Alvarado Quesada

Durante la Administración Alvarado Quesada (2018-2022), RECOPE impulsó un proyecto de gasolina con etanol. Esta iniciativa no resultó exitosa, debido - entre otras causas - a la insuficiencia de apoyo político que recibió, a confusiones en cuanto a la separación de roles entre el ente rector (MINAE) y el ente operador del proyecto (RECOPE), a la falta de una adecuada estrategia de comunicación, y a deficiencias en el modelo de negocios.

Acción sobre mezclas con etanol en el Plan Nacional de Desarrollo 2023-2026

El Ministerio de Ambiente y Energía definió, en el Plan Nacional de Desarrollo 2023-2026, la meta para la introducción de gasolina mezclada con etanol en el mercado nacional de combustibles, con el fin de contribuir en la descarbonización de la matriz energética mediante la diversificación con fuentes bajas en carbono.

Reorientación del proyecto de mezcla de gasolina con etanol

A raíz de las iniciativas del Poder Ejecutivo, en julio de 2022, la Presidencia de RECOPE solicitó a la Gerencia de Innovación un replanteamiento del proyecto de gasolina con etanol, para aprovechar las lecciones aprendidas en la administración anterior, de manera tal que se logren reducir riesgos, potenciar oportunidades de éxito y maximizar el valor público a ofrecer a la sociedad costarricense.

Entre julio y setiembre, se efectuó un análisis *in situ* de los requerimientos en cada una de las terminales de RECOPE para poder realizar la mezcla de gasolina con etanol.

En el mes de agosto se inició la coordinación con las Autoridades Superiores del Ministerio de Ambiente y Energía para el replanteamiento del proyecto y establecer los elementos del nuevo enfoque; principalmente, el objetivo, el alcance, el modelo de negocio, y la estrategia de implementación.

Desde agosto se ha mantenido una coordinación regular entre MINAE y RECOPE, para el replanteamiento del proyecto. En ese contexto, RECOPE le ha brindado apoyo técnico al MINAE para la inclusión del proyecto en la agenda nacional de política energética.

2.2. En el mundo

Tendencias mundiales que impulsan el uso de etanol como combustible

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, el uso de etanol como carburante 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 28 millones de metros cúbicos en 2021 (RFA, 2022). Según proyecciones de la empresa federal de investigación energética EPE, en un escenario de crecimiento medio, la producción de etanol podría rondar los 46.8 millones de metros cúbicos para el 2032 (BNamericas, 2022).

Por otra parte, en 2005, Estados Unidos creó el programa Renewable Fuel Standard (RFS)[1], en el cual se establecen metas anuales de sustitución de derivados del petróleo por combustibles renovables[2], con el propósito de reducir las emisiones de GEI. El programa RFS fue expandido dos años después

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

(RFS2)[3], para fijar una meta de 136 millones de metros cúbicos (36 billones de galones[4]) en 2022, entre otros cambios.

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 2021, el consumo de etanol en Estados Unidos fue de 54,61 millones de metros cúbicos (13,9 billones de galones) (EIA, 2022), lo cual representa un 93% de la meta de biocombustible convencional según el RFS para ese año.

La saturación del suministro de gasolina de los Estados Unidos con etanol vendido como E10, motivó a la industria del etanol a buscar aprobación para suministrar una mezcla de etanol de nivel medio: E15. La participación porcentual del combustible etanol en el consumo total de gasolina para motores ha sido superior al 10 % desde 2017. (EIA, 2022).

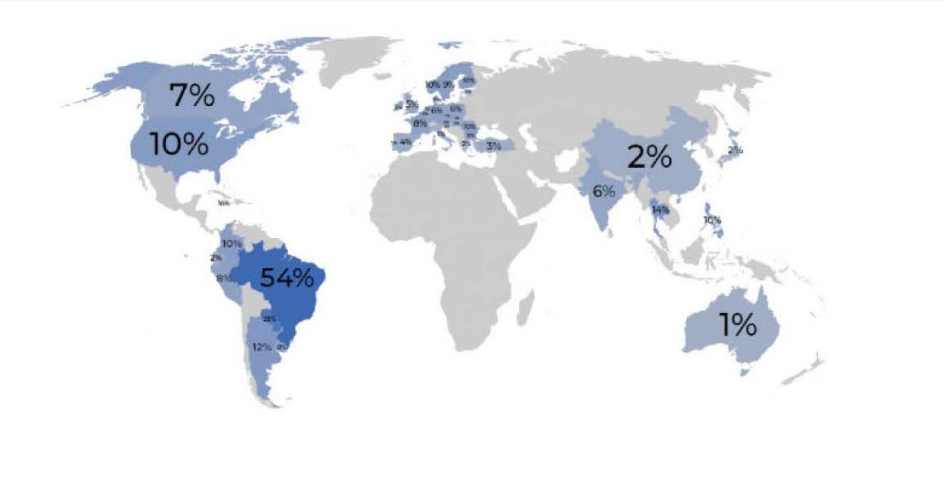
Consumo de etanol combustible en el mundo

Según datos del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), al 2019 se contabilizaron 53 países con obligaciones de uso de bioetanol, excluyendo a aquellos que tienen mandatos que parten del 0 % y no utilicen bioetanol. La figura 2.1. presenta los porcentajes promedio empleados por región.

[3] 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).

[4] 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.

Figura 2.1. Países con mandatos efectivos sobre el uso de mezclas con gasolina con etanol al 2019.



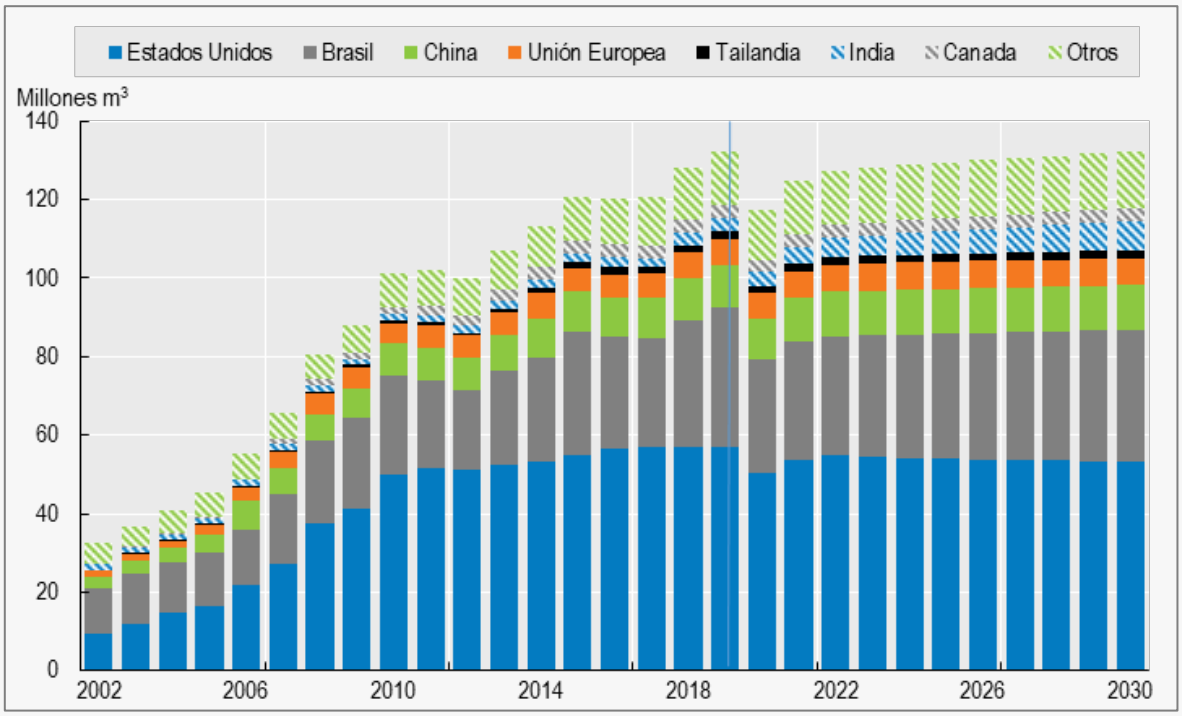
Nota: Mandatos obligatorios, mandatos generales y uso promedio de biocombustibles en países con metas de reducción de GEI. En aquellos países con mandatos subnacionales se toma como referencia la mezcla (v/v) con gasolina efectiva a nivel nacional.

Se excluyen del conteo países con rangos que partan desde el 0 % y no utilicen bioetanol.

Fuente: IICA, 2020.

La figura 2.2. muestra el consumo la evolución del consumo mundial de etanol carburante. Entre 2002 y 2020, el consumo ha crecido más de 3.6 veces, alcanzando un volumen máximo de 132 millones de metros cúbicos en 2019, antes de la pandemia por COVID 19. Las proyecciones a 2030, estiman una recuperación y crecimiento sostenido en el consumo de este biocombustible.

Figura 2.2. Consumo mundial de etanol empleado como combustible en mezclas con gasolina (2002-2020 y datos proyectados al 2030). En millones de m^3.



Fuente: OECD/FAO (2021), "OECD-FAO Agricultural Outlook", OECD Agriculture statistics (database).

3. Marco metodológico

En este capítulo se presenta un resumen de la política pública, los objetivos de RECOPE como operador, la descripción del alcance del informe, las premisas y la metodología.

3.1. Orientaciones de política pública aplicables al proyecto

El proyecto de incorporación de etanol en las gasolinas responde a un objetivo de desarrollo nacional, cuyo cumplimiento se deberá evaluar mediante un Estudio de Factibilidad que será elaborado durante el 2023 y que considerará un análisis de largo plazo.

El Plan Nacional de Desarrollo 2023-2026 (PND), establece dentro de las acciones planteadas para el sector Ambiente y Energía una acción referente a la introducción de gasolina mezclada con etanol en el mercado nacional de combustibles. El objetivo que motiva tal acción es "Contribuir en la descarbonización de la matriz energética mediante la diversificación con fuentes bajas en carbono". (MIDEPLAN, 2022, p 72).

Según el PND, la meta es incorporar un 8% de etanol en el volumen total de las gasolinas. Dicho porcentaje deberá ser oficializado y podrá ser modificado por el Ministerio del Ambiente y Energía (MINAE) mediante el instrumento jurídico correspondiente. (MIDEPLAN, 2022, p 72[5]).

El PND indica además que, el acondicionamiento de las instalaciones en las terminales de RECOPE deberá ser realizado en 2023, y que en 2024 y 2025 se deberá incorporar la mezcla de etanol en las gasolinas de forma incremental. (MIDEPLAN, 2022, p 72).

3.2. Objetivo general de RECOPE

Ofrecer mezclas de gasolina con etanol en sus terminales de venta de combustibles, de manera tal que pueda cumplir la meta establecida en el PND de incorporar etanol en las gasolinas, con los porcentajes y las calidades que establezca el MINAE.

---

[5] Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica, MIDEPLAN (2022). Plan nacional de desarrollo e inversión pública "Rogelio Fernández Güell" 2023-2026. Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica. San José.

3.3. Objetivos específicos de RECOPE

- Realizar las adecuaciones necesarias en la infraestructura de las terminales, para recibir, almacenar y mezclar etanol con las gasolinas, en las terminales de RECOPE.
- Mantener un proceso de venta de mezclas de gasolina con etanol que responda a las mejores prácticas operativas, y que asegure los niveles establecidos de precio, continuidad y calidad del servicio.

3.4. Alcance del presente informe

Este informe contiene los resultados de cuatro estudios:

- Un análisis de mercado preliminar, a partir del cual se identifican y se caracterizan las fuentes de abastecimiento de etanol, los tipos de etanol que se pueden llegar a adquirir, y estimaciones de precios de importación de etanol y de gasolinas base para las mezclas.
- La determinación de los requerimientos de modificación de la infraestructura existente de RECOPE en las terminales, para que estén en capacidad de suministrar mezclas de gasolinas con etanol, y la estimación preliminar del costo de tales adecuaciones.
- La estimación de la reducción en emisiones de GEI asociadas a la incorporación de mezclas con etanol.
- Un análisis financiero retrospectivo para el periodo 2013-2021, mediante el cual se estima el beneficio para el consumidor de adquirir una mezcla de gasolina con etanol que sustituya la Gasolina Superior (RON 95). Los escenarios de este estudio consideran distintos tipos de etanol y distintos tipos de gasolinas de base a emplear en las mezclas.

Adicionalmente, se realiza una sistematización de antecedentes nacionales e internacionales relevantes para el proyecto.

3.5. Criterio de política pública propuesto

En la elaboración del análisis financiero, se aplicará el siguiente criterio de política pública: sólo se sustituirá la Gasolina Superior por mezclas con etanol. Al definir este criterio, se tiene en cuenta lo siguiente:

1. Resulta conveniente que se continúe ofreciendo la Gasolina Plus 91, sin sustituir ningún porcentaje de ella por mezclas con etanol, en tanto se crea confianza en el consumidor sobre la opción con biocombustibles.
2. Existe una mayor proporción de automóviles antiguos que emplean Gasolina Plus 91. Al evitar la sustitución de combustibles para los vehículos más antiguos, se espera reducir la resistencia al uso de mezclas con etanol, en una primera etapa.

3.6. Metodología

La metodología de este análisis se basa en lo siguiente:

- Coordinación con el MINAE para conocer la estrategia para el cumplimiento de la meta incluida en el PND, referente a la introducción de mezclas de gasolina con etanol en el mercado nacional, y para determinar las actividades que RECOPE, como operador, debe realizar para llevar a cabo el objetivo nacional, dentro de las cuales se destaca la generación de información técnica.
- Visitas a las terminales con el propósito de determinar las necesidades de adecuación de la infraestructura y su costo.
- Revisión bibliográfica acerca del mercado nacional e internacional y sobre aspectos técnicos relacionados con las mezclas y el desempeño de las mismas.
- Aplicación de las metodologías recomendadas por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) para la estimación de las emisiones de GEI.
- Definición de escenarios de evaluación, considerando el origen del etanol (de maíz o caña de azúcar) y la gasolina base (gasolina RON 91 o CBOB).
- Elaboración de flujos de caja incrementales para cada uno de los escenarios planteados, para el período 2013-2021.

4. Estudio de mercado

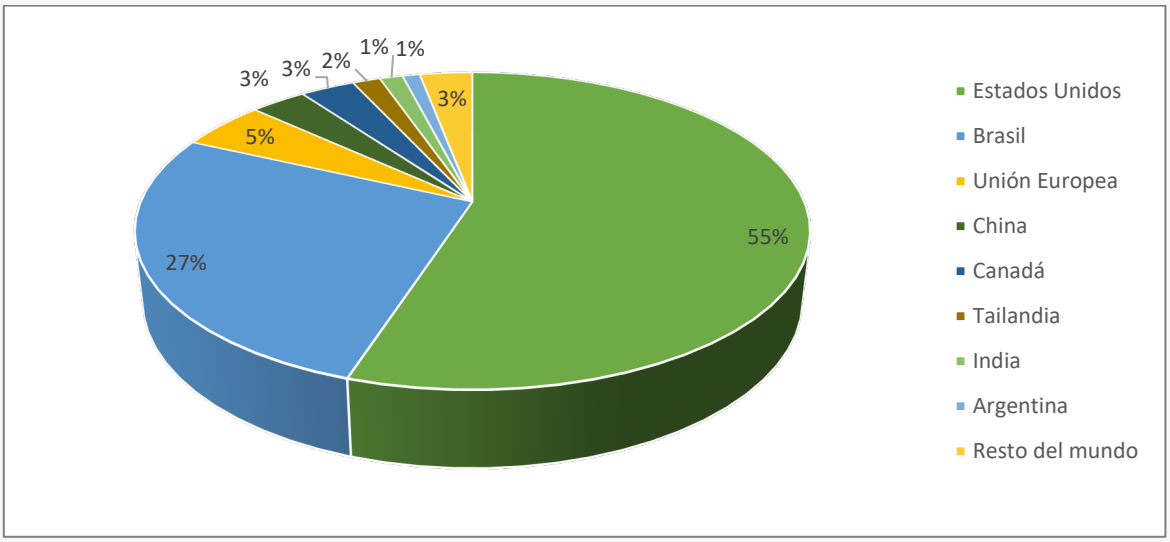
El estudio de mercado que se presenta a continuación está orientado a identificar posibles fuentes de abastecimiento de etanol carburante por parte de RECOPE, para ser empleado como insumo en su programa de venta de mezclas de gasolina con etanol. Este capítulo se divide en cinco secciones, según el siguiente detalle:

- La primera sección presenta datos sobre la producción de etanol en el mundo.
- La segunda se concentra en los mercados de etanol de Estados Unidos y Brasil, que, según se estableció en análisis previos, son las dos fuentes a las que RECOPE podría recurrir para importar este producto, debido a que son los mayores productores de etanol en el mundo, han sido exportadores netos de etanol en los últimos años, y se encuentran en la misma región del mundo que Costa Rica, lo cual permite costos de logística más competitivos.
- En la tercera sección se exploran las posibilidades de adquisición de etanol producido en el país.
- En la cuarta sección se presenta una comparación de precios de materias primas; inicialmente se analizan los precios entre el etanol producido a base de maíz y el producido a base de caña de azúcar, posteriormente se confrontan los precios de las gasolinas base y el CBOB, lo anterior con el fin de determinar las materias primas que serán utilizadas en el análisis financiero.

4.1. Producción internacional de etanol.

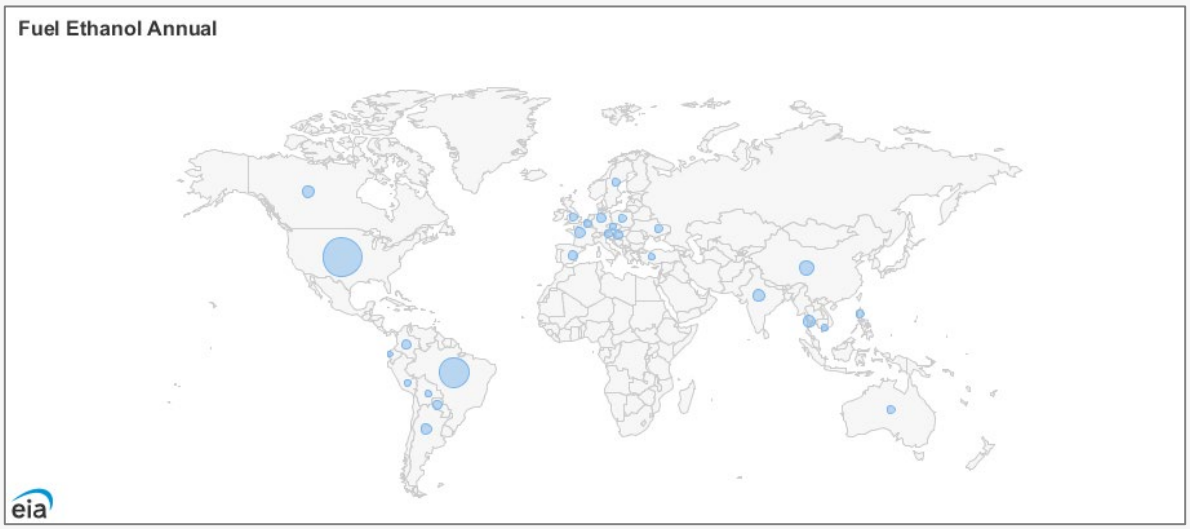
En 2021, la producción mundial de etanol fue 103,3 millones de metros cúbicos (27,2 billones de galones). Los principales países productores de etanol son Estados Unidos y Brasil. De acuerdo con *Renewable Fuels Association* (2022), en 2021 estos dos países aportaron 82% de la producción (véanse las Figuras 4.1 y 4.2).

Figura 4.1. Países productores de etanol en el mundo al 2021.



Fuente: Elaboración propia con datos de Renewable Fuels Association (RFA, 2022).

Figura 4.2. Países productores de etanol en el mundo al 2021.



Fuente: U.S. Energy Information Administration (EIA, 2022).

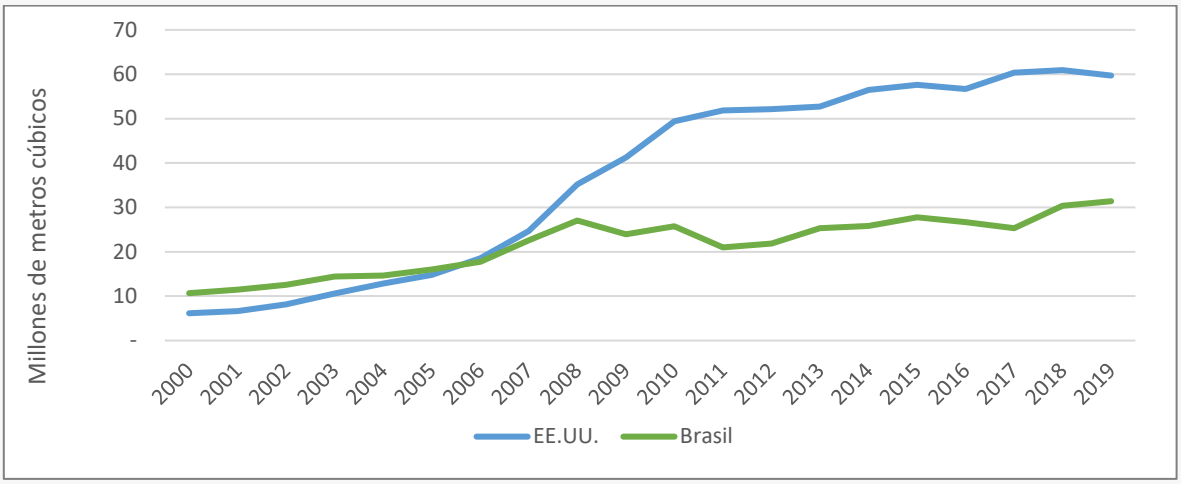
Una de las principales diferencias entre la producción de dichos países es la materia prima que emplean. Mientras Brasil produce el etanol a base de la caña de azúcar, Estados Unidos lo produce de maíz; por esa razón, los precios de Estados Unidos tienden a ser menores que los de Brasil, como

se verá en la sección 4.4 del presente estudio. Desde el punto de vista ambiental, el etanol de caña de azúcar de Brasil presenta menores niveles de emisión de gases de efecto invernadero (GEI)[6] para el ciclo completo (del pozo a la rueda), lo que lo hace más atractivo en algunos mercados y a la vez aumenta su precio.

4.2. Mercado del etanol en Estados Unidos y Brasil

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 maíz 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 4.3).

Figura 4.3. Producción anual de etanol en Estados Unidos y Brasil



Fuente: Elaboración propia con datos de U.S. Energy Information Administration (EIA, 2022).

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 Stardard* (RFS) en

[6] El tema de emisiones se desarrollará con más detalle en el apartado 5.4.

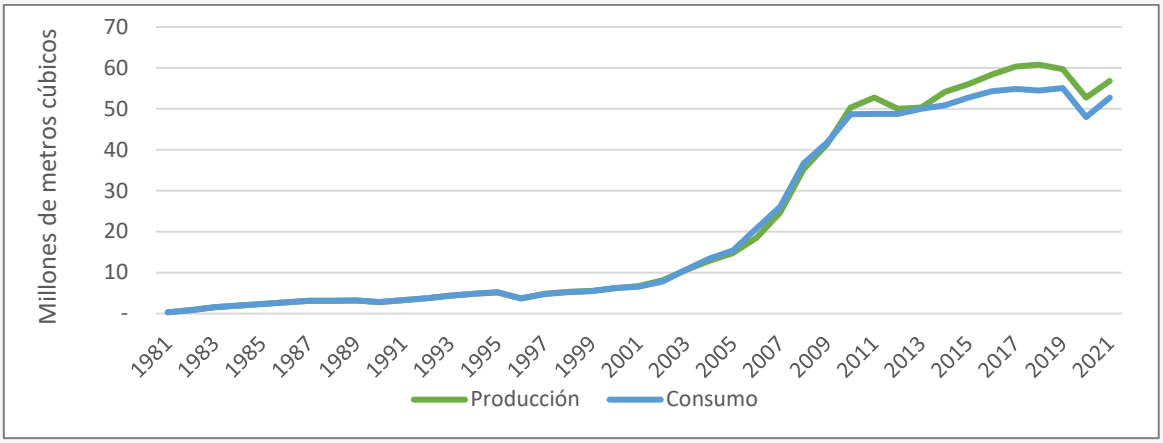
2005 y su ampliación (RFS2) en 2007. La adición de etanol en las gasolinas también ha sido promovida por medio de un incentivo fiscal a las terminales en las que se efectúa la mezcla[7].

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 4.4 y 4.5).

Figura 4.4. Balance neto de las importaciones y exportaciones de etanol de Estados Unidos

Fuente: Elaboración propia con datos de U.S. Energy Information Administration (EIA, 2022).

Figura 4.5. Producción y consumo de etanol en Estados Unidos

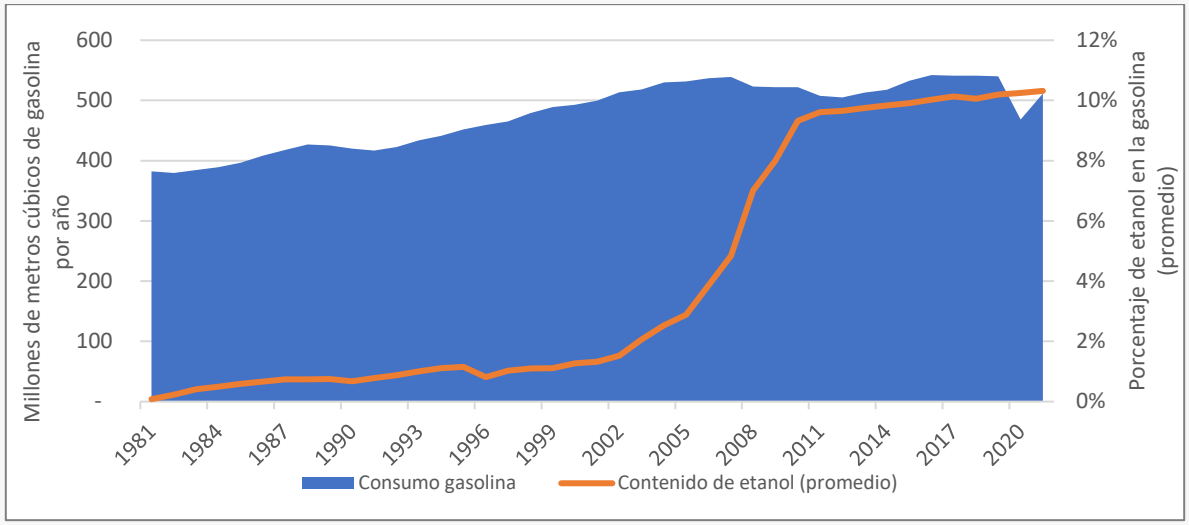


Fuente: Elaboración propia con datos de U.S. Energy Information Administration (EIA, 2022).

[7] 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).

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 4.6).

Figura 4.6. 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, 2022).

Por otra parte, la producción de etanol de Brasil presentó un fuerte crecimiento durante los primeros años del siglo XXI, aunque menor que la 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 4.3).

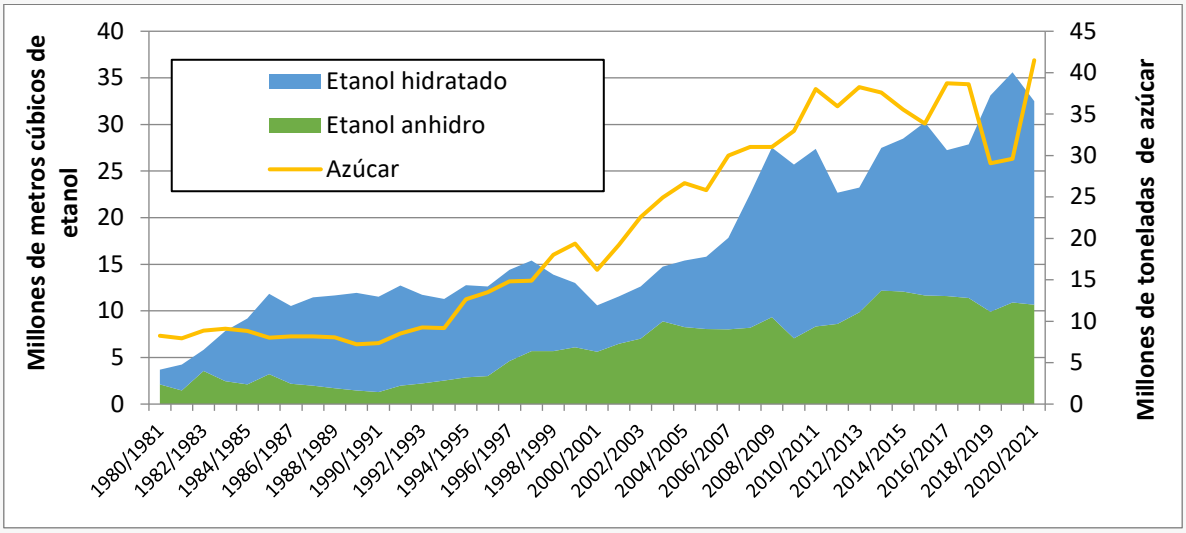
El modelo de producción predominante en Brasil consiste en el proceso integrado para obtener tanto azúcar como etanol (de las melazas resultantes de la producción de azúcar); aunque también existen algunas destilerías autónomas, dedicadas por completo a la obtención de etanol (Dias *et al*., 2015).

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 (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 4.7 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.

Figura 4.7. Producción de etanol y azúcar de Brasil

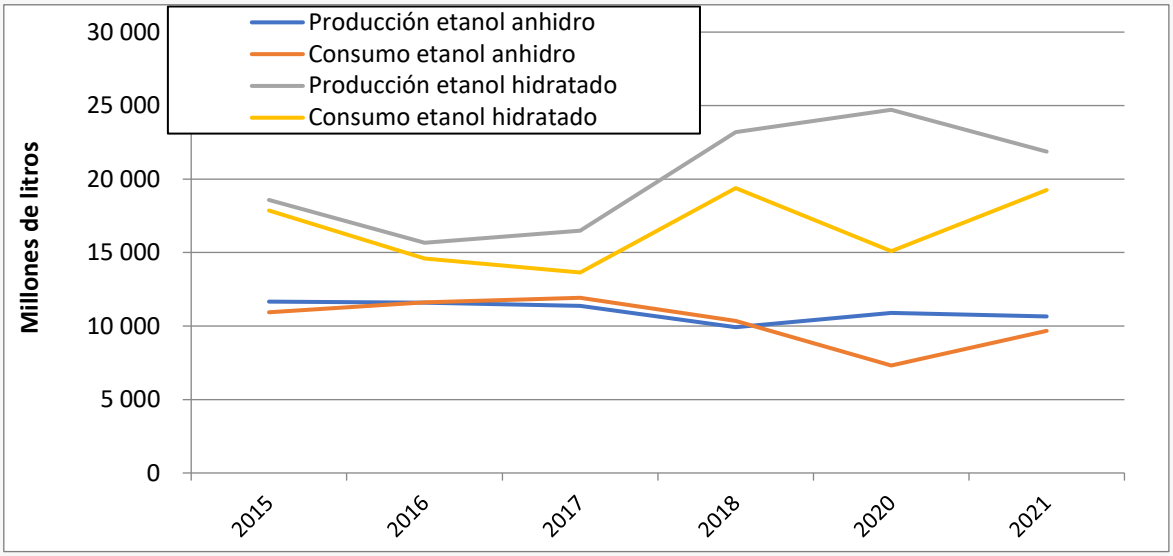


Fuente: Elaboración propia con datos de la Asociación brasileña de la industria de la caña de azúcar (Unica, s.f.)

La producción brasileña de etanol anhidro es muy similar a su consumo (véase la figura 4.8) y las importaciones suelen ser similares a las exportaciones, sin embargo, en los últimos años se ha

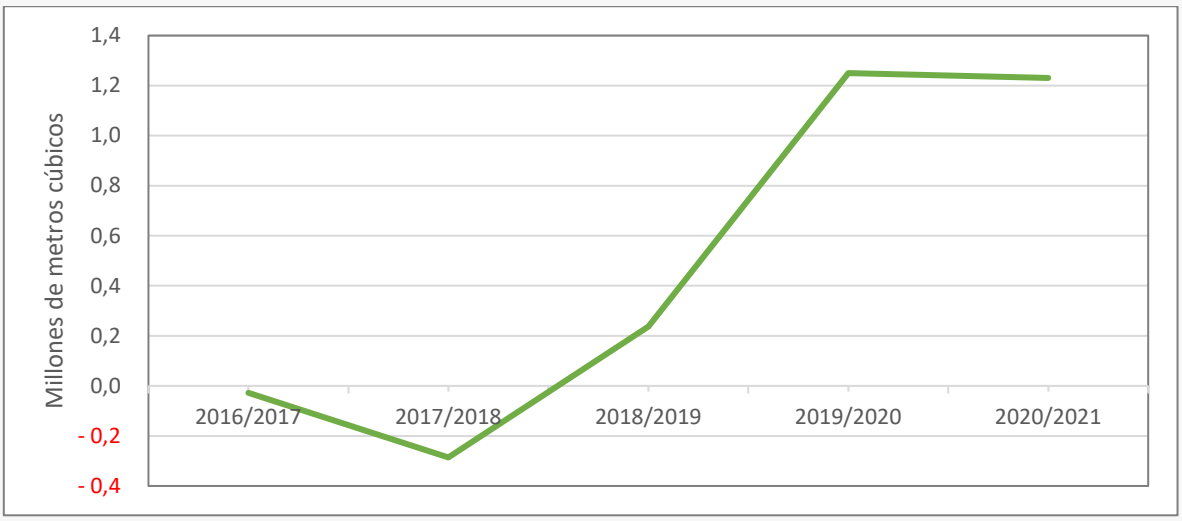
presentado una tendencia a colocar el etanol en el mercado internacional, lo que se refleja en el aumento de las exportaciones (véase la figura 4.9).

Figura 4.8. 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.)

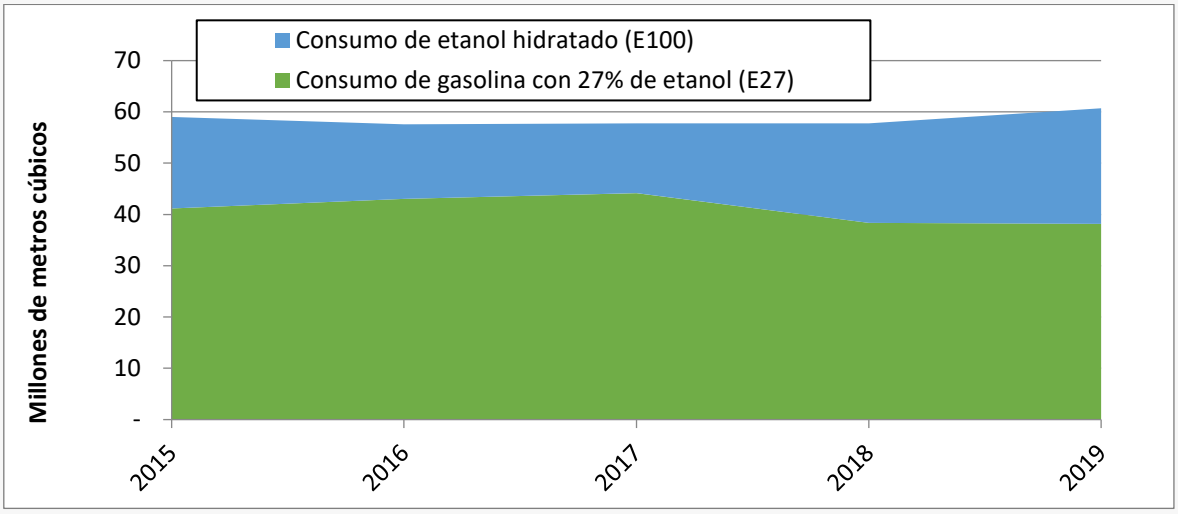
Figura 4.9. Balance neto de las importaciones y exportaciones de etanol de Brasil



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

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 4.10 se muestra el consumo de etanol hidratado y de gasolina con 27% de etanol anhidro.

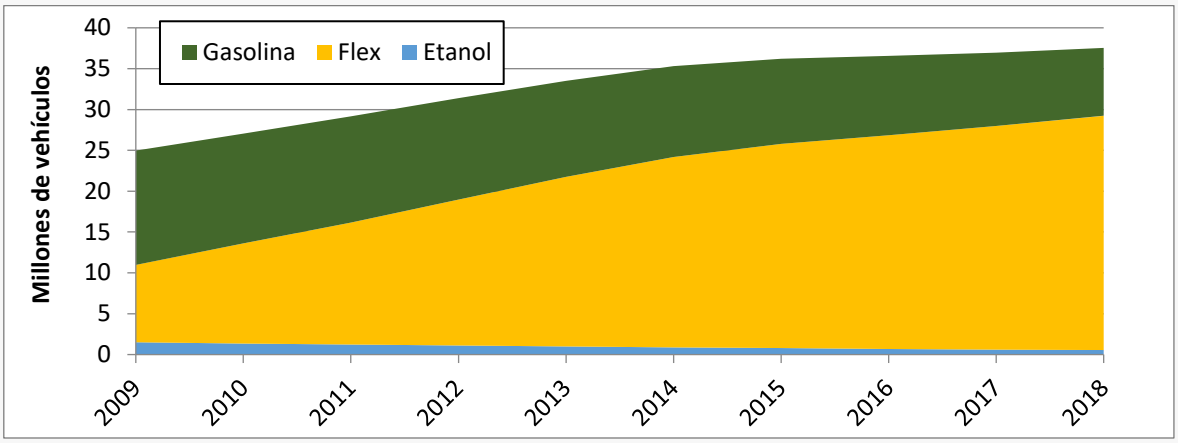
Figura 4.10 Consumo de etanol hidratado y gasolina con etanol anhidro en Brasil



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

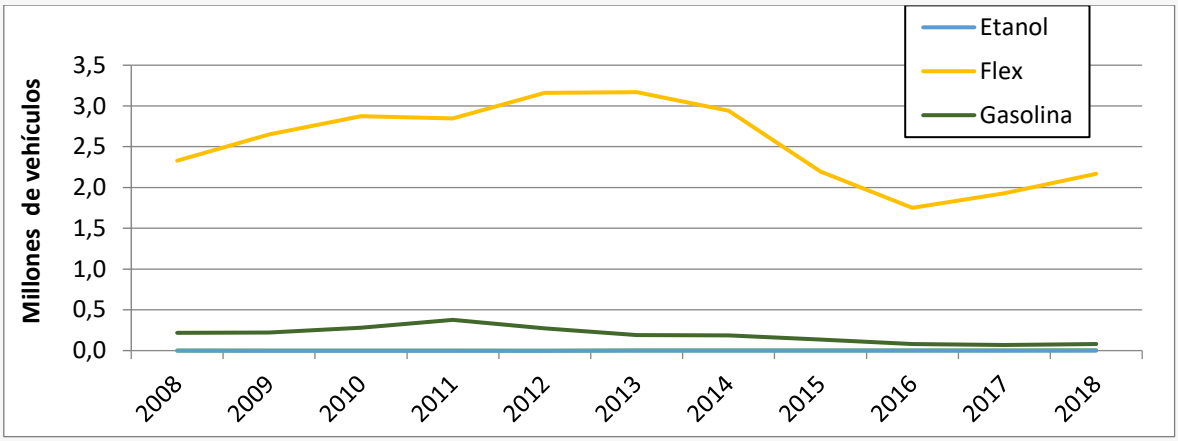
En 2018, 76% de los automóviles de ciclo de Otto (incluyendo eléctricos), en Brasil, eran Flex Fuel. Como ya mencionó estos vehículos pueden operar con etanol hidratado o con cualquier proporción de gasolina con etanol. En el período 2009 – 2018, la flotilla Flex Fuel aumentó 12% cada año y en 2018 las ventas de este tipo de vehículos representaron el 96% de las de automóviles de ciclo de Otto (véanse las figuras 4.11 y 4.12).

Figura 4.11 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 4.12 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.

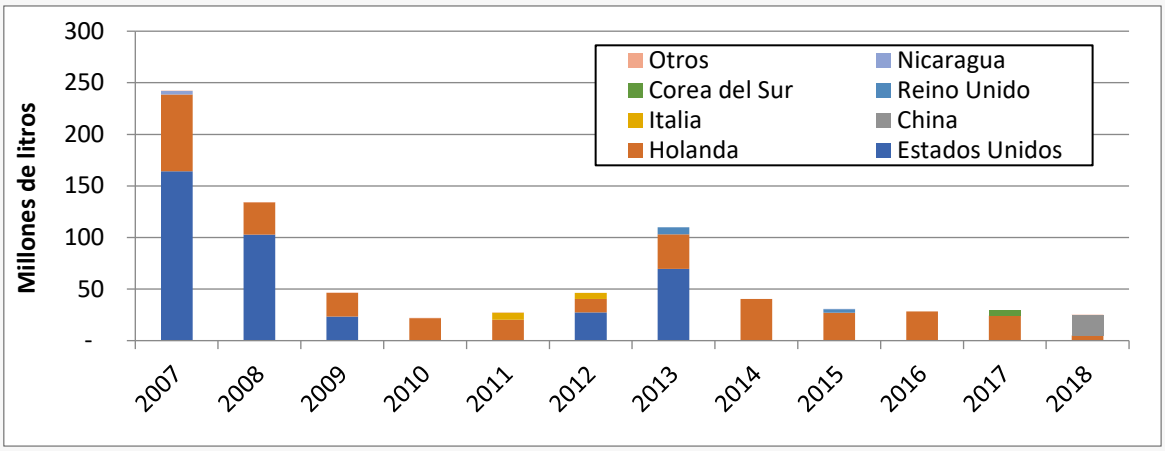
A partir de la producción mundial de etanol (108 millones de m^3 en 2018) y la producción mundial de gasolinas (del orden de 1 700 millones de m^3 en el mismo año) (BP Statistical Review of World

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 orientativo[8]) cerca de 380 millones de esos vehículos particulares estarían usando gasolinas con etanol.

4.3. Mercado internacional del etanol costarricense

Actualmente, la mayor parte del etanol producido en Costa Rica está destinado a la exportación. En la figura 4.13 se muestran las exportaciones por país de destino al año 2018.

Figura 4.13. Exportaciones de etanol de Costa Rica, por país



Fuente: Elaboración propia con datos de Procomer

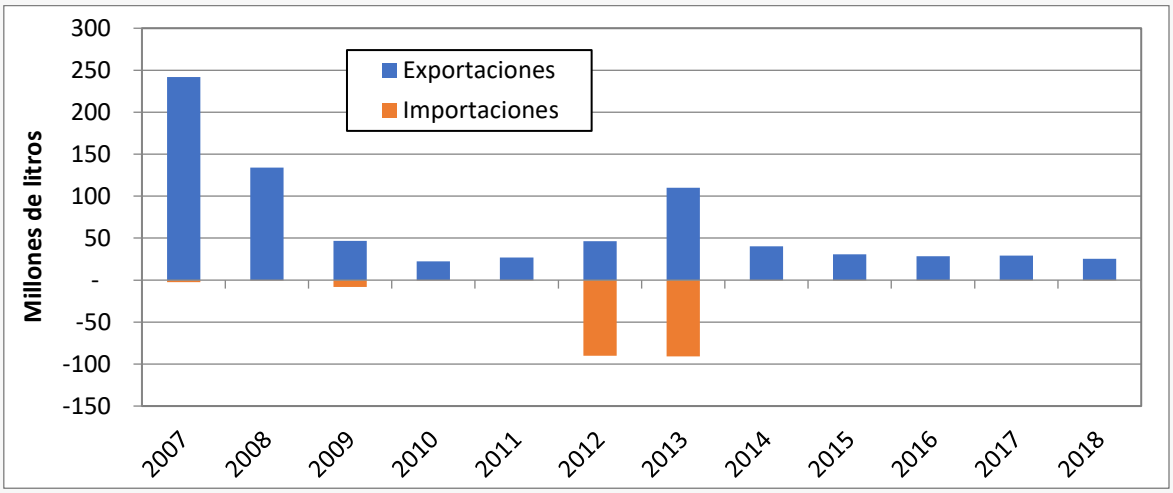
Antes de 2013, el principal comprador del etanol costarricense era Estados Unidos, sin embargo, debido a un desacuerdo entre ambos países respecto al Tratado de Libre Comercio (TLC), Costa Rica no ha exportado etanol a Estados Unidos desde abril del 2013. La diferencia entre ambos países se da a raíz 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

[8] 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.

de etanol (véase la figura 4.3), por lo que en la actualidad sus importaciones son considerablemente menores.

En la figura 4.14 se muestran las exportaciones e importaciones de etanol, en Costa Rica, desde 2007 al 2018[9].

Figura 4.14. Exportaciones e importaciones de etanol de Costa Rica



Fuente: Elaboración propia con datos de Procomer

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 litros[10].

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, 2018); 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

[9] 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.
[10] Este dato se obtuvo por medio de conversaciones con personal de Taboga y la información publicada por Catsa (2020).

y Brasil (LAICA, 2018); de esta manera, era posible superar varias veces la producción de las dos destilerías.

A pesar de que existe una capacidad de producción de etanol deshidratado en Costa Rica para suplir parcialmente los requerimientos del proyecto de mezcla de gasolinas con etanol, la posibilidad de utilizar dicho etanol es baja, debido a que dicho etanol es producido a partir de caña de azúcar, lo que implica que se tase a precios más elevados que el etanol de maíz en el mercado internacional[11], lo anterior hace suponer que debido a proceso de compra de RECOPE, se opte por el etanol más barato, es decir el producido a partir de maíz en Estados Unidos.

4.4. Comparación de precios de materias primas

En la presente sección se presenta la comparación de precios históricos de las materias primas antes mencionadas, las cuales se agrupan en dos tipos según lo siguiente:

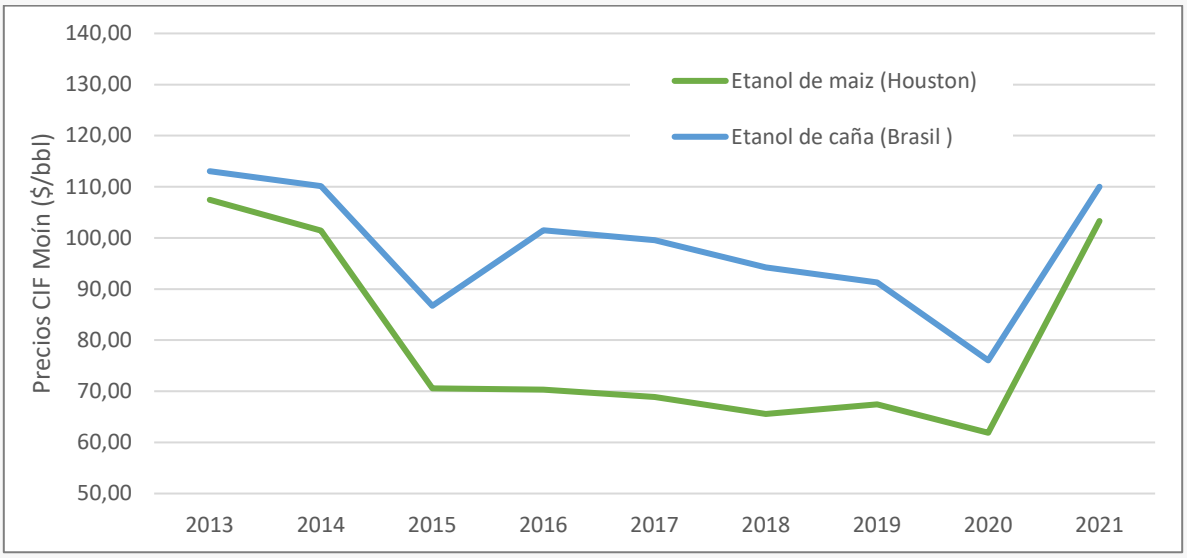
1. Etanol: se compara el precio histórico del etanol producido a base de maíz y el producido a base de caña de azúcar.
2. Gasolina: se confrontan los precios históricos de las gasolinas terminadas y la gasolina base (CBOB).

En la figura 4.15 se muestran los precios históricos del etanol de maíz y el etanol de caña de azúcar CIF Moín del período 2013-2021.

Para la elaboración del precio del etanol de maíz se toma la referencia del precio internacional FOB Houston Estados Unidos y se le agrega el costo de seguro y flete marítimo para convertirlo en CIF Moín. Lo mismo se realiza con el etanol de caña de azúcar, tomando como referencia el precio internacional FOB Brasil. Se desconoce el precio del etanol de caña de azúcar de Costa Rica debido a que no existe un mercado permanente a nivel nacional; se carece de un registro histórico de cómo se ha comportado su precio por lo que no puede ser incluido en el presente análisis.

[11] En el apartado 4.4 se realiza una comparación de precios de etanol de maíz (Estados Unidos) y etanol de caña de azúcar (Brasil y Costa Rica), lo que sirve de base para las afirmaciones del presente párrafo.

Figura 4.15. Precios históricos de etanol de maíz y etanol de caña de azúcar



Fuente: Elaboración propia con datos de Platts y del Departamento de Comercio Internacional de RECOPE.

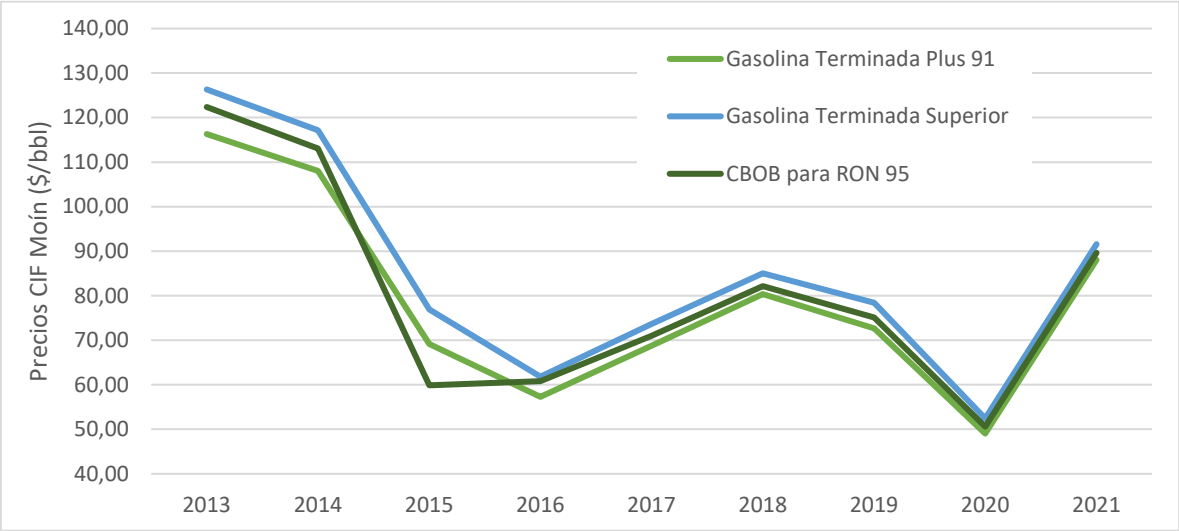
Como se puede observar de la figura anterior, en todo el período los precios promedios anuales del etanol de caña de azúcar superan el precio del etanol de maíz.

Se concluye que la mayor probabilidad de obtener un precio menor de compra se da con el etanol de maíz proveniente de Estados Unidos. Para efectos prácticos, bajo el esquema actual de compra, Costa Rica deberá adquirir el etanol más barato que exista en el mercado independientemente de su origen.

En la figura 4.16 se presentan los precios históricos de las gasolinas terminadas (Plus 91 y Súper) y la gasolina base tipo CBOB, para el período 2013-2021. Estos precios se construyen a partir del precio FOB USGC[12] a los que se le suma el seguro y flete marítimo para convertirlos en CIF Moín.

[12] USGC: es el acrónimo para el mercado de la Costa del Golfo de los Estados Unidos (U.S. Gulf Coast).

Figura 4.16. Precios históricos de gasolinas terminadas y gasolina base tipo CBOB



Fuente: Elaboración propia con datos de Platts y del Departamento de Comercio Internacional de RECOPE.

Como se muestra en el gráfico anterior, el precio tanto de la Gasolina Plus 91 terminada como el CBOB para RON 95 se encuentran el 100% del tiempo por debajo del precio de la Gasolina Superior terminada. Se puede concluir que es preferible formular la mezcla de Gasolina Superior con etanol a partir de Gasolina Plus 91 terminada o CBOB.

Enfocando la comparación en las materias primas determinadas anteriormente (Gasolina Plus 91 y CBOB) se puede observar en el mismo gráfico que el comportamiento es variante a lo largo del período. En algunos años el precio la Gasolina Plus 91supera el precio del CBOB y en otros se encuentra por debajo, lo anterior implica que se deberá correr un análisis financiero para ambas materias primas con el fin de determinar cuál es la más conveniente para el proyecto.

5. Estudio técnico

5.1. Análisis sobre el etanol carburante

En esta sección se presenta información básica sobre el etanol carburante. También se incluyen referencias a tres aspectos clave para establecer qué tan adecuadas son las mezclas con este combustible para sustituir la gasolina pura, en motores de combustión interna: la estabilidad de la mezcla, el volumen de mezcla consumido en relación con el de gasolina puro, y el impacto sobre el desempeño de los motores. Finalmente, se ofrecen recomendaciones sobre los porcentajes de etanol a emplear en las mezclas a vender por RECOPE.

Generalidades del 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 5.1 se resumen algunas de las propiedades fisicoquímicas del etanol.

Cuadro 5.1. 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 MTBE[13], 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).

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. En el mundo, el etanol que se utiliza como combustible suele ser bioetanol obtenido 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. La producción costarricense de etanol se basa también en la caña de azúcar.

En términos generales, la producción de etanol consiste en cinco etapas:

a) Exprimido, trituración y molienda de la materia orgánica para liberar los azúcares o el almidón, según sea el caso.

b) Descomposición de 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.

c) Fermentación.

[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).

d) 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.

e) Rectificación. Mediante este proceso es posible obtener etanol anhidro, con un grado cercano al 100%.

¿Qué tan adecuado es el etanol para ser usado como combustible?

Estabilidad

Uno de los aspectos que han 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 se 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.

Consumo

Se debe considerar que el rendimiento de los motores de combustión interna a gasolina (ciclo termodinámico Otto) depende de varios factores. Varios de ellos se ven favorecidos por la presencia de etanol en el combustible, como, por ejemplo: mayor octanaje, mayor contenido de oxígeno, menor

contenido de carbono, y mayor densidad, entre otros. En lo que respecta al consumo, estos atributos del etanol llegan a compensar el hecho de poseer un menor contenido energético que la gasolina[14].

Por lo tanto, el menor contenido de poder calórico del etanol con respecto a la gasolina y su efecto en el consumo de combustible podría ser compensado por la mejora de los factores antes mencionados.

Para modelar el efecto del etanol en el consumo de combustible 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).

La evidencia recolectada hasta el momento, en las pruebas en marcha que se realizaron en los vehículos de RECOPE, son consistentes con los resultados del estudio antes mencionado, pues no se ha evidenciado un aumento de consumo debido al uso de mezclas con etanol, que sea estadísticamente representativo.

En síntesis, al pasar del consumo de gasolina pura al de mezclas con etanol, no se espera generar impactos negativos para el consumidor.

Impacto en el funcionamiento de los motores

Se presentan a continuación los principales resultados de un estudio reciente (NREL, 2021) que analizó la compatibilidad de las mezclas gasolina con etanol con las flotillas vehiculares de distintos países alrededor del mundo: Canadá, China, India, Indonesia, Japón, Corea del Sur y México.

- Estados Unidos y Brasil comenzaron sus experiencias con etanol en la década de los 70. A partir de entonces, los proveedores globales de partes para vehículos automotores comenzaron a incorporar cambios para incorporar materiales compatibles con el etanol. De esta manera, los sistemas de combustible en los vehículos evolucionaron durante las últimas décadas a partir de la necesidad de hacerlos compatibles con el uso del etanol.

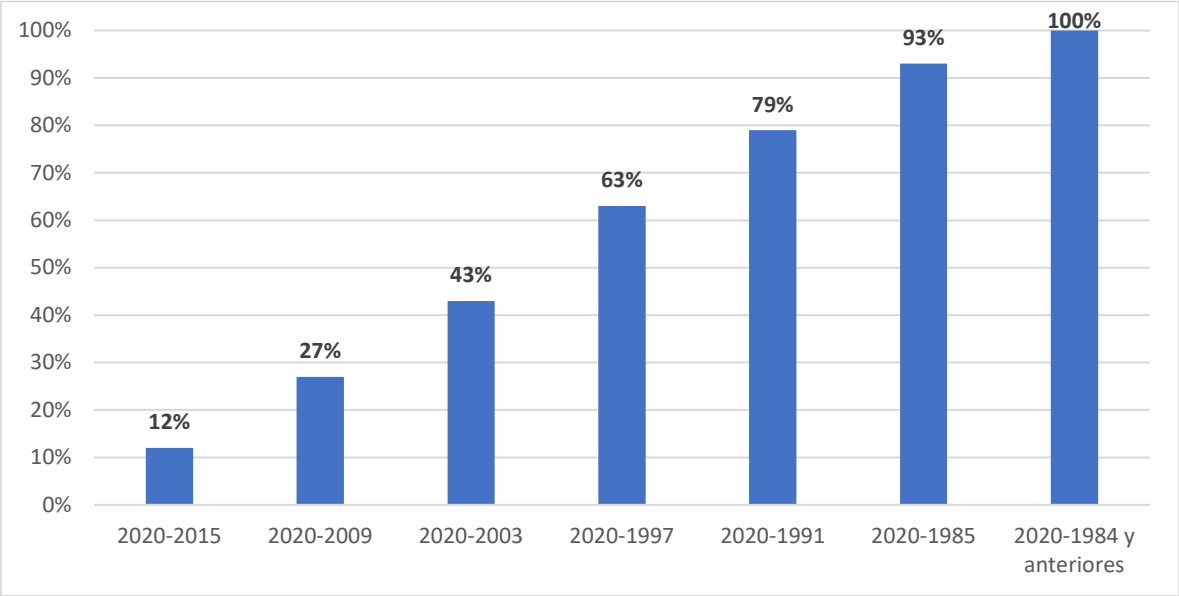
[14] Teóricamente una mezcla E10 tendría un poder calórico de un 3% inferior al de una gasolina pura (CONCAWE, 2013)

- El estudio no identificó ningún diseño específico de motor o de vehículo, ni ninguna práctica de ingeniería, que pueda causar problemas al operar con etanol.
- La química del combustible y las diferencias de propiedades entre la gasolina sin etanol y la mezcla con 10% de etanol (E10) son muy pequeñas.
- Cualquier vehículo fabricado con estándares internacionales en los últimos 50 años tiene una probabilidad muy alta de ser totalmente compatible con E10. Por tanto, es muy probable que los todos los vehículos livianos y motocicletas en los países de estudio sean compatibles con E10.
- Todos los vehículos con el nivel de tecnología de control de emisiones Tier 1[15] de EE. UU. o posterior, es decir, los fabricados a partir de 1997 tienen una alta probabilidad de ser compatibles con E15.
- Todos los vehículos de nivel de tecnología Tier 2 o Tier 3 de EE. UU, es decir, los fabricados después de 2009 tienen una alta probabilidad de ser compatibles con E20.

Para poder aplicar los resultados antes mencionados a la realidad de Costa Rica, se obtuvieron datos sobre la distribución porcentual por rango de edad de los automóviles que circulaban en el país en el 2020 (RITEVE, 2020). (Véase la figura 5.1)

[15] La U. S. Environment Protection Agency (EPA) ha emitido estándares sobre emisiones de vehículos livianos desde la década de los noventa. La primera normativa, denominada Tier 1, fue emitida por primera vez en 1991, y se aplicó por fases entre 1994 y 1997. Fue sustituida por Tier 2, que entraron en vigencia en 1999, y su calendario de implementación tuvo lugar entre 2004 y 2009. Los estándares Tier 3, actualmente vigentes, se emitieron en 2014, y su período de implementación es desde 2017 hasta 2025. Las normas Tier 1 se aplicaban a todos los vehículos ligeros (LDV) nuevos de menos de 8500 libras de peso bruto nominal (GVWR). La normativa Tier 2 amplió su aplicabilidad a los vehículos de pasajeros medianos (MDPV) con un GVWR de entre 8500 y 10.000 lbs. La normativa Tier 3 incluye además normas de emisiones para vehículos pesados con chasis certificado de hasta 14.000 libras (Clase 2b y Clase 3). Cada nueva generación de normas de emisiones se introduce progresivamente a lo largo de varios años. Durante el periodo de introducción, los fabricantes deben certificar un porcentaje cada vez mayor de su flota de vehículos nuevos según las nuevas normas, mientras que los vehículos restantes siguen certificados según el nivel anterior de la normativa sobre emisiones. (Dieselnet, s.f.)

Figura 5.1. Costa Rica: Distribución porcentual acumulada del parque de automóviles según rango de edad, expresado en años de fabricación



Fuente: Elaboración propia con datos de RITEVE (2020).

Suponiendo una similitud tecnológica del parque vehicular costarricense con el de Estados Unidos, los datos del cuadro anterior permiten llegar a las siguientes conclusiones:

1. El 27% de los automóviles del país en 2020 tenían edades de fabricación correspondientes a las normas Tier 2 y Tier 3, y, por tanto, tienen una alta probabilidad de ser compatibles con E20.
2. El 63% de los automóviles del país en 2020 eran consecuentes con las normas Tier 1 o superiores, y, por tanto, tienen una alta probabilidad de ser compatibles con E15.
3. El 37% restante del parque de automóviles del país tiene una probabilidad muy alta de ser compatible con E10.

Con base en las conclusiones anteriores, se puede afirmar que toda la flota de automóviles del país tiene una probabilidad muy alta de ser compatible con E10.

Conviene agregar que los estudios realizados por RECOPE en relación con la compatibilidad de las mezclas de gasolina con etanol con el desempeño de los motores de los vehículos que circulan en el país mostraron resultados coherentes con los que se reportan en la bibliografía internacional.

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, el cual operó durante 6 años (de 2006 a 2011), el cual demostró que la adición de etanol a la gasolina no afecta significativamente el desempeño ni la integridad de los vehículos. Muestra de ello es que en durante el período en que el plan estuvo vigente, solamente se recibieron 11 quejas de usuarios relacionadas con el combustible; en todos esos casos, se demostró que los problemas reportados estaban relacionados con un insuficiente mantenimiento de los vehículos, y no con los atributos del combustible. Este plan se dio por concluido, a raíz del cierre de la refinería en 2011, debido a la limitación en las operaciones de mezclado de RECOPE derivadas de esa decisión.

Determinación de los porcentajes de etanol

Para efectos del proyecto de mezcla de gasolinas con etanol, se pueden definir porcentajes máximos del 10% de mezcla, para acatar lo establecido en la norma INTE E1:2016.

Por otro lado, no se recomiendan mezclas con porcentajes inferiores al 5%, teniendo en cuenta que la experiencia internacional en cuanto al uso del producto y las evidencias técnicas sugieren que la utilización de porcentajes bajos de etanol genera desventajas en relación con la presión de vapor, la separación de fases en presencia de agua y el rendimiento. (RECOPE, 2018).

A pesar de que el porcentaje puede variar entre un 5 y un 10%, para fines del presente estudio se utilizó el porcentaje máximo de etanol permitido en las mezclas por la norma INTE E1:2016; es decir un 10%. Se tiene presente que este valor debe ser establecido por el Poder Ejecutivo, mediante una política pública.

5.2. Tipos de gasolina que pueden ser empleadas en las mezclas

En el mundo se llevan a cabo distintas combinaciones con distintos tipos de gasolinas y sus grados, en general, se puede afirmar que dichas mezclas se pueden clasificar en dos tipos:

1. Mezcla con gasolina terminada, es decir las mismas gasolinas que se comercializan actualmente en el país.

2. Mezcla con gasolina base. 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.

En el caso de la mezcla con gasolina terminada, en Costa Rica se comercializa Gasolina Plus 91 (91 octanos) y la Gasolina Superior de 95 octanos, ambas sin plomo. Llevar a cabo este tipo de mezclas permite una mayor flexibilidad operativa al mezclado, pero implica que podrían comercializarse gasolinas con octanajes superiores a los exigidos por las normas, lo cual tiene un costo mayor.

Las gasolinas base que se utilizan para la mezcla con etanol son las siguientes:

- CBOB: Compuesto convencional para mezcla de oxigenados. Es un tipo de gasolina base que alcanza el octanaje requerido cuando se le adiciona un determinado porcentaje de etanol, y su mezcla produce una gasolina convencional. Es el compuesto base que más se utiliza para la formulación de combustible E10 (90% CBOB y 10% Etanol).
- RBOB: Compuesto reformulado para mezcla de oxigenados. Este es un compuesto que al agregar un 10% de etanol se convierte en gasolina reformulada terminada o RFG. Por lo general, la gasolina reformulada produce una menor cantidad de smog en comparación con las gasolinas convencionales.

Por lo general, las gasolinas base 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.

5.3. Proceso de importación, almacenamiento, mezcla y venta de las mezclas

Evaluación de la infraestructura para formulación, almacenamiento y venta de mezclas

Se realizó un diagnóstico de cada una de las terminales donde se describe la infraestructura que poseen para realizar los procesos de mezclas. Las capacidades tanques indicadas están expresadas en volúmenes bombeables.

a. Moín

Esta terminal cuenta con dos sistemas para recibo de etanol, uno por vía marítima (etanol importado) y otra por medio de camiones cisterna (etanol nacional).

Si se realiza la importación del etanol, este será por vía marítima. La terminal cuenta con una tubería de aproximadamente 4,5 km (antigua tubería de LPG) que une el sistema de importación del puerto petrolero al patio de almacenamiento con el tanque 7135 exclusivo para E100 con una capacidad de 15 777 m^3. Para hacer uso de estas instalaciones se requiere valorar la integralidad de la tubería indicada y liberar el tanque 7135 que actualmente se utiliza para el almacenamiento de Gasolina Plus 91. Del tanque 7135, se alimentan los tanques 913, 914 y 915, con una capacidad de 616 m^3 cada uno, por medio de un sistema bombeo de 159 m^3/hr. El sistema de bombeo se encuentra fuera de servicio.

Los tanques 913, 914 y 915 están destinados al almacenamiento exclusivo de E100 y requieren ser limpiados, darles recubrimientos internos y externos, dar mantenimiento y actualizar la instrumentación, incluyendo el sistema SMAT y se deben revisar las válvulas de presión/vacío.

En el caso de que el suministro del etanol sea nacional, la terminal dispone de un sistema para carga y descarga de camiones cisterna en el área de ventas, el cual se conecta con los tanques 913, 914 y 915, por lo que se puede descargar etanol a dichos tanques, así como cargar etanol a camiones cisterna.

Cabe indicar que estos tres tanques se encuentran conectados a las islas de cargaderos donde se podría dosificar para el suministro de las mezclas. Los sistemas de dosificación deben ser actualizados y modernizados.

b. El Alto

Se cuenta con una estación de recibo y descarga de etanol por medio de camión cisterna en el patio de ventas, en el cobertizo de poliducto, a un costado del múltiple de recibo de línea 6. Se dispone con una bomba con una capacidad de 96 m^3/h para la descarga, la cual no tiene un respaldo ni protecciones mecánicas ni de control.

La terminal cuenta con los siguientes tanques para almacenamiento de etanol: 104 de 3 500 m^3 y el 106 de 1 200 m^3. De los cuales el 104 está preparado para el almacenamiento de dicho producto, sin embargo, se está utilizando para almacenamiento de Gasolina Plus 91. En el caso del tanque 106 requiere ser intervenido para limpieza, pintura y recubrimiento interior, además de una revisión de los sistemas de válvulas de presión/vacío.

Los tanques disponibles para realizar la formulación de gasolina con etanol son el 101, 102 y 103 de 3 500 m^3 cada uno y el 107 de 6 000 m^3, a los cuales se deberá sustituir los sellos del techo flotante. Dicha formulación se puede realizar utilizando la bomba de recirculación/transferencia con una capacidad de 136 m^3/h, moviendo el volumen requerido de etanol al tanque y recirculando hasta homogenizar.

c. La Garita

Se cuenta con una estación de recibo y descarga de etanol por medio de camión cisterna en el patio de ventas, a un costado del dique del tanque 504. Se dispone con una bomba con una capacidad de 52 m^3/h para la descarga, la cual no tiene un respaldo ni protecciones mecánicas ni de control. El sitio está expuesto al sol, por lo que requiere un acondicionamiento con un cobertizo para protección de las descargas y que haya un sitio controlado de derrames.

La terminal cuenta con un tanque para almacenamiento de etanol (504), el cual está preparado, vacío y limpio a la espera de iniciar el proyecto. Dicho tanque tiene una capacidad de almacenamiento de 750 m^3. Cabe destacar que dicho tanque no está conectado al sistema SMAT por lo que se debe volver a habilitar, así como hacer un diagnóstico del sistema de válvulas presión/vacío.

Los tanques disponibles para realizar la formulación de gasolina con etanol son el 509, 510 y 521, con una capacidad de 4 842, 4 839 y 7 782 m^3 respectivamente y a los cuales se deberá sustituir los sellos del techo flotante; adicionalmente, se requiere una revisión de los Domos de Aluminio debido a que poseen filtraciones lo que implica que el producto cuente con altos niveles de agua.

El sistema está diseñado para que primero se introduzca el volumen requerido de etanol para la mezcla de E10 en el tanque utilizando una boba de transferencia existente de 80 m^3/h, luego se debe alinear el mismo al poliducto para recibir gasolina súper. Posteriormente se debe realizar la verificación de la mezcla en el tanque y si es requerido se debe recircular para homogenizar. Sin embargo, los tanques no cuentan con un sistema de recirculación, por lo que resulta necesario instalar un sistema de recirculación en el dique de los tanques 509/510 y otro para el 521; adicionalmente se sugiere instalar un sistema de mezclado en cada tanque para acelerar y mejorar el proceso de mezclado.

d. Barranca

Se cuenta con una estación de recibo y descarga de etanol, por medio de camión cisterna, ubicada a un costado del dique de los tanques 805 y 806. Se dispone con dos bombas con una capacidad de 164 m^3/h cada una para la descarga de cisternas, adicionalmente este sistema permite transferir etanol a los tanques de venta y la recirculación para la homogenización.

La terminal cuenta con un tanque para almacenamiento de etanol (808), el cual está preparado para almacenar etanol e inclusive cuenta con un volumen de 1 250 m^3 de mezcla etanol/gasolina. Dicho tanque tiene una capacidad de almacenamiento de 1 390 m^3.

Los tanques disponibles para realizar la formulación de gasolina con etanol son el 805 y 806, con una capacidad de 1 038 y 2 996 m^3 respectivamente, los cuales están sellados y cuentan con válvulas presión/vacío por lo que se consideran listos para iniciar el proyecto.

El sistema está diseñado para que primero se introduzca el volumen requerido de etanol para la mezcla de E10 en el tanque a formular, haciendo uso de las bombas de 164 m^3/h del sistema de etanol de la terminal, luego se debe alinear el mismo al poliducto para recibir gasolina súper. Posteriormente se debe realizar la verificación de la mezcla en el tanque y si es requerido se debe recircular para homogenizar utilizando el mismo múltiple de bombas antes mencionado.

En el Cuadro 5.2 se enlistan los tanques a utilizar para el proyecto en su primera fase de mezcla E10 para la Gasolina Superior:

Cuadro 5.2. Resumen de los tanques a utilizar para el almacenamiento de etanol.

Terminal	Tanque	Producto	Capacidad bombeable		Usos
			m^3	bbl	
Moín	7135	Etanol	15 667	98 542	Recepción del etanol importado por barco.
	913	Etanol	616	3 875	Dosificación de etanol en las gasolinas que se expenden en los nuevos cargaderos y trasiego de etanol hacia otros planteles.
	914	Etanol	616	3 875	
	915	Etanol	616	3 875	
	7126	Gasolina Superior / E10	6 965	43 809	Tanques de Gasolina Superior. Sirven para formulación de E10 y certificación como tanque madre

Terminal	Tanque	Producto	Capacidad bombeable		Usos
			m^3	bbl	
	7127	Gasolina Superior / E10	14 033	88 265	para venta en la terminal, tal como se trabaja actualmente.
	7133	Gasolina Superior / E10	32 456	204 142	
	7136	Gasolina Superior / E10	13 999	88 051	
	7138	Gasolina Superior / E10	13 005	81 799	
El Alto	104	Etanol	3 467	21 807	Recepción de etanol por camión cisterna
	106	Etanol	1 198	7 535	
	101	Gasolina Superior / E10	3 472	21 838	Tanques para formulación y venta de E10
	102	Gasolina Superior / E10	3 466	21 800	
	103	Gasolina Superior / E10	3 461	21 769	
	107	Gasolina Superior / E10	5 937	37 343	
La Garita	504	Etanol	738	4 642	Recepción de etanol por camión cisterna
	509	Gasolina Superior / E10	4 842	30 455	Tanques para formulación y venta de E10
	510	Gasolina Superior / E10	4 839	30 436	
	521	Gasolina Superior / E10	7 782	48 946	
Barranca	808	Etanol	1 321	8 309	Recepción de etanol por camión cisterna
	805	Gasolina Superior / E10	1 038	6 529	Tanques para formulación y venta de E10

Terminal	Tanque	Producto	Capacidad bombeable		Usos
			m^3	bbl	
	806	Gasolina Superior / E10	2 996	18 844	

Fuente: Elaboración propia

Alternativas para los procesos de mezcla en terminales

A partir del diagnóstico realizado se concluye que las alternativas que se nombraron anteriormente mantienen vigencia según lo ya identificado en el Estudio de Factibilidad elaborado por la Dirección de Planificación en el año 2020; con excepción de la mezcla en línea en el recibo del poliducto, debido a que el sistema está obsoleto y limitado de cuanto a los caudales para realizar la dosificación adecuada. Por lo tanto, las alternativas viables técnicamente son las siguientes:

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 por medio de una tubería que extrae parte de la mezcla y la reintroduce al mismo tanque (la recirculación se debe llevar a cabo durante 12 horas aproximadamente). 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. Este método de mezclado tiene la limitante que las terminales de ventas pueden realizar esta mezcla solamente para una de las gasolinas.

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 mayor a la alternativa anterior, pero permite mantener las gasolinas y el etanol en tanques separados, en todo momento, y ofrece una alta precisión en la dosificación. Además, se podría realizar las mezclas a cualquiera de las gasolinas que se ofertan.

Cuadro 5.3. Comparación entre los 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 los cargaderos de ventas de gasolina	El porcentaje de mezcla se puede definir con precisión.	La inversión es mayor a la de otros métodos.
	La gasolina y el etanol se pueden almacenar separados, en todo momento.	

Fuente: Dir. Planificación. (2020). Estudio de factibilidad del proyecto de mezcla de gasolina con etanol a nivel nacional. RECOPE.

Tomando en cuenta las ventajas y desventajas de cada método considerado, se concluye que el mezclado se puede iniciar como una primera etapa la mezcla en tanque, debido a que se requiere menos inversión y menor tiempo para poder ofrecer un producto mezclado a nivel nacional.

Luego, una vez establecido el suministro del producto, ganada la confianza de los clientes y tomada la decisión de continuar con la iniciativa de la incorporación de biocombustibles en la matriz energética, que lleve a la necesidad de mezclar en todas las gasolinas, se deberá adecuar todas las terminales para mezclar en línea los cargaderos de ventas con el fin de poder suministrar mezclas de etanol en el 100% de las 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.

Requerimientos de infraestructura en las terminales de RECOPE

En el Cuadro 5.4 se enlistan las actividades requeridas por terminal para poder contar con un sistema confiable para realizar las mezclas en tanques para las terminales de El Alto, La Garita y Barranca, así como adecuar el sistema de mezclado en línea para la terminal de Moín:

Cuadro 5.4. Actividades requeridas por terminal

DISCIPLINA[16]	DETALLE DE ACTIVIDADES	Moín LN	El Alto EA	La Garita LG	Barranca BA
M	Respaldos para los sistemas de bombeo de descarga de cisternas.		X	X	
I&C	Verificar la operación de los sistemas de recibo de etanol	X	X	X	X
M	Construir los Sistemas de mezcla de gasolina con etanol.	X	X	X	
M	Revisar la selección, capacidad, dimensionamiento y funcionamiento de todas las válvulas de presión / vacío para asegurar su correcta operación.	X	X	X	
I&C	Verificar la operación de todos los elementos del sistema SMAT de los tanques involucrados.	X	X	X	
M	Sustitución general de sellos en válvulas y bombas desde el recibo de E100 hasta la venta de mezcla.	X	X	X	X
I&C	Verificar que los equipos de medición en cargaderos son los adecuados para trabajar con la mezcla.	X	X	X	X
I&C	Verificar la operación de los puestos de carga una vez resueltos los dos ítems anteriores	X			
M	Limpieza de tubería hacia cargaderos	X	X	X	X
M	Limpieza de Tanques	X	X	X	X
M	Sustitución de sellos de los techos flotantes en los tanques disponibles para la mezcla.		X	X	
M	Gestor Ambiental: Verificar la calidad del etanol almacenado para determinar si es reutilizable o se debe desechar.	X	X	X	X

[16] M: Mecánica. I&C: Instrumentación y control

DISCIPLINA[16]	DETALLE DE ACTIVIDADES	Moín LN	El Alto EA	La Garita LG	Barranca BA
	Desecho y tratamiento de residuos de limpieza de tanques				
M	Verificar el tema de tratamiento de aguas y vertidos de efluentes con etanol.	X	X	X	X
M	Definir el manejo de las devoluciones de producto y la dosificación a los tanques de diesel.	X	X	X	X
M	Definir el protocolo de manejo de derrames de E100 y su tratamiento.	X	X	X	X
I&C / M	Verificar el tipo de espumógeno utilizado para el Sistema conta Incendios y los patines de inyección de espuma.	X		X	
M	Realizar Pintura de tanques	X	X		
M	Construir Cobertizo para descarga de E100			X	
M	Reparaciones Filtraciones en techos Tipo Domo			X	
M	Suministro e Instalación de Acoples secos y mangueras		X	X	X
M	Evaluar la integridad de la tubería de importación	X			

Fuente: Elaboración propia

5.4. Gastos asociados al acondicionamiento de la infraestructura

Con base en las actividades que se deben realizar, y que fueron indicadas el Cuadro 5.4, se procedió a cuantificar cada uno de los requisitos por medio de contrataciones anteriores y criterio de experto. Se tomó en cuenta a profesionales en el área de ejecución cómo en las áreas de operación y mantenimiento. Cabe mencionar que los montos estimados consideran los costos de instalación de los equipos requeridos e incorporan los costos asociados a todas las disciplinas auxiliares que se requieran para la adecuada instalación y operación como puede ser la disciplina civil y/o eléctrica.

En el Cuadro 5.5 se encuentran los estimados de inversión asociados a la primera etapa de mezcla en tanques, lo anterior basado en el diagnóstico inicial.

Cuadro 5.5. Presupuesto aproximado para adecuar las instalaciones existentes para realizar la mezcla de gasolina con etanol

DISCIPLINA	DETALLE DE ACTIVIDADES	LN	Otros Costos_LN	EA	Otros Costos_EA	LG	Otros Costos_LG	BA	Otros Costos_BA	Sub_Total
M	Respaldos para los sistemas de bombeo de descarga de cisternas.	-	-	156 000	15 600	156 000	15 600	-	-	343 200
I&C	Verificar la operación de los sistemas de recibo de etanol	44 200	4 420	32 500	3 250	2 600	260	2600	260	90 090
M	Construir los Sistemas de mezcla de gasolina con etanol.	175 500	17 550	260 000	26 000	585 000	58 500	-	-	1 122 550
M	Revisar la selección, capacidad, dimensionamiento y funcionamiento de todas las válvulas de presión / vacío para asegurar su correcta operación.	2 600	260	2 600	260	2 600	260	2 600	260	11 440
I&C	Verificar la operación de todos los elementos del sistema SMAT de los tanques involucrados.	234 000	23 400	2 600	260	58 500	5 850	-	-	324 610
M	Sustitución general de sellos en válvulas y bombas desde el recibo de E100 hasta la venta de mezcla.	13 000	1 300	13 000	1 300	13 000	1 300	13 000	1 300	57 200
I&C	Verificar que los equipos de medición en cargaderos son los adecuados para trabajar con la mezcla.	35 100	3 510	81 900	8 190	93 600	9 360	46 800	4 680	283 140
I&C	Verificar la operación de los puestos de carga una vez resueltos los dos 49tems anteriores	208 000	20 800	-	-	-	-	-	-	228 800
M	Limpieza de tubería hacia cargaderos	32 500	3 250	32 500	3 250	32 500	3 250	32 500	3 250	143 000
M	Limpieza de Tanques	26 000	2 600	32 500	3 250	26 000	2 600	19 500	1 950	114 400
M	Sustitución de sellos de los techos flotantes en los tanques disponibles para la mezcla.	-	-	13 000	1 300	13 000	1 300	-	-	28 600
M	Gestor Ambiental: Verificar la calidad del etanol almacenado para determinar si es reutilizable o se debe desechar. Desecho y tratamiento de residuos de limpieza de tanques	19 500	1 950	19 500	1 950	19 500	1 950	19 500	1 950	85 800
M	Verificar el tema de tratamiento de aguas y vertidos de efluentes con etanol.	13 000	1 300	13 000	1 300	13 000	1 300	13 000	1 300	57 200
M	Definir el manejo de las devoluciones de producto y la dosificación a los tanques de diesel.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M	Definir el protocolo de manejo de derrames de E100 y su tratamiento.	13 000	1 300	13 000	1 300	13 000	1 300	13 000	1 300	57 200
I&C / M	Verificar el tipo de espumógeno utilizado para el Sistema conta Incendios y los patines de inyección de espuma.	169 000	16 900	-	-	169 000	16 900	-	-	371 800
M	Realizar Pintura de tanques	650 000	65 000	260 000	26 000	-	-	-	-	1 001 000
M	Construir Cobertizo para descarga de E100	-	-	-	-	32 500	3 250	-	-	35 750
M	Reparaciones Filtraciones en techos Tipo Domo	-	-	-	-	65 000	6 500	-	-	71 500
M	Suministro e Instalación de Acoples secos y mangueras	-	-	19 500	1 950	19 500	1 950	19 500	1 950	64 350
M	Evaluar la integridad de la tubería de importación	2 600	260	-	-	-	-	-	-	2 860
	Total	**1 801 800**		**1 046 760**		**1 445 730**		**200 200**		**4 494 490**

Las inversiones estimadas se expresan en moneda del 2021 y corresponde a una estimación Clase V, según la clasificación de la AACE[17].

Es importante acotar que si al realizar la evaluación de la integridad de la tubería de importación entre el puerto petrolero y la terminal, el ducto no cumple con lo permitido para el trasiego de etanol E100 importado, se deberá instalar una tubería nueva cuyo costo aproximado es de tres millones de dólares americanos.

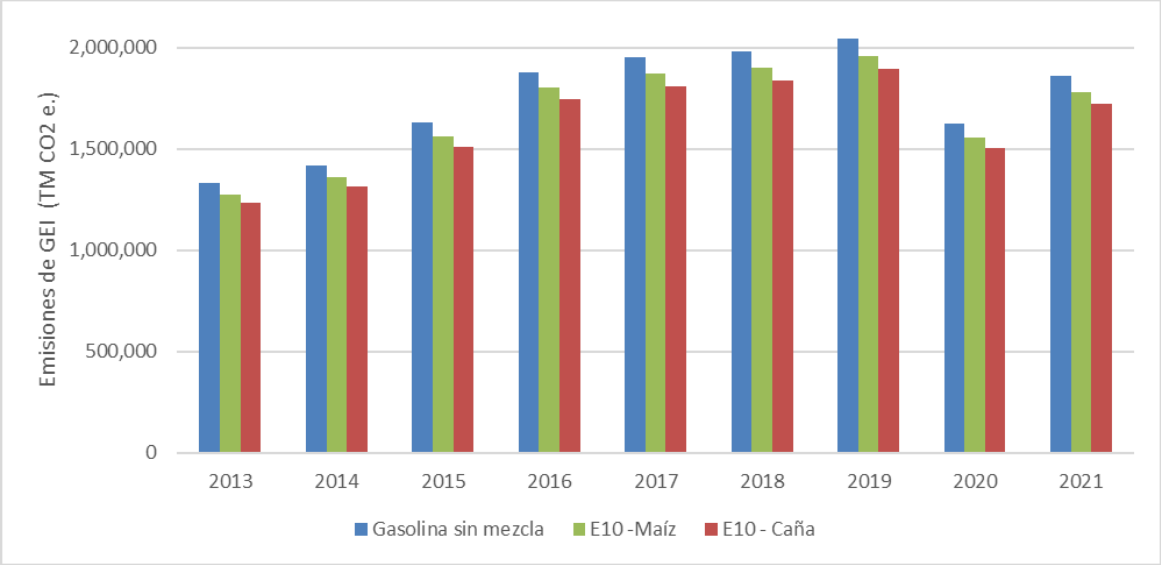
5.5. Estimación de emisiones de GEI

En la figura 5.2. se muestra una estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero en el ciclo de vida del producto (del pozo a la rueda) cuando se utilizan gasolina fósil o mezclas de gasolina con etanol de maíz y de caña al 10%.

Como es posible apreciar, el uso de etanol contribuye a una disminución en las emisiones anuales asociadas al uso del combustible. En el caso con maíz, si el país hubiera utilizado una mezcla E10 entre el 2013 y el 2021, la disminución promedio anual de las emisiones hubiera sido de 72 900 TM de CO_2e. por año; mientras que para la caña se hubiera alcanzado una reducción de 128 000 TM de CO_2e.

[17] AACE International: Asociación para el Avance de la Ingeniería de Costes. El estimado Clase V presenta una variación de –50% a +100% con respecto al presupuesto definido.

Figura 5.2. Emisiones de GEI en el ciclo de vida de la gasolina y de las mezclas E10 con etanol de maíz o caña, periodo 2013-2021.

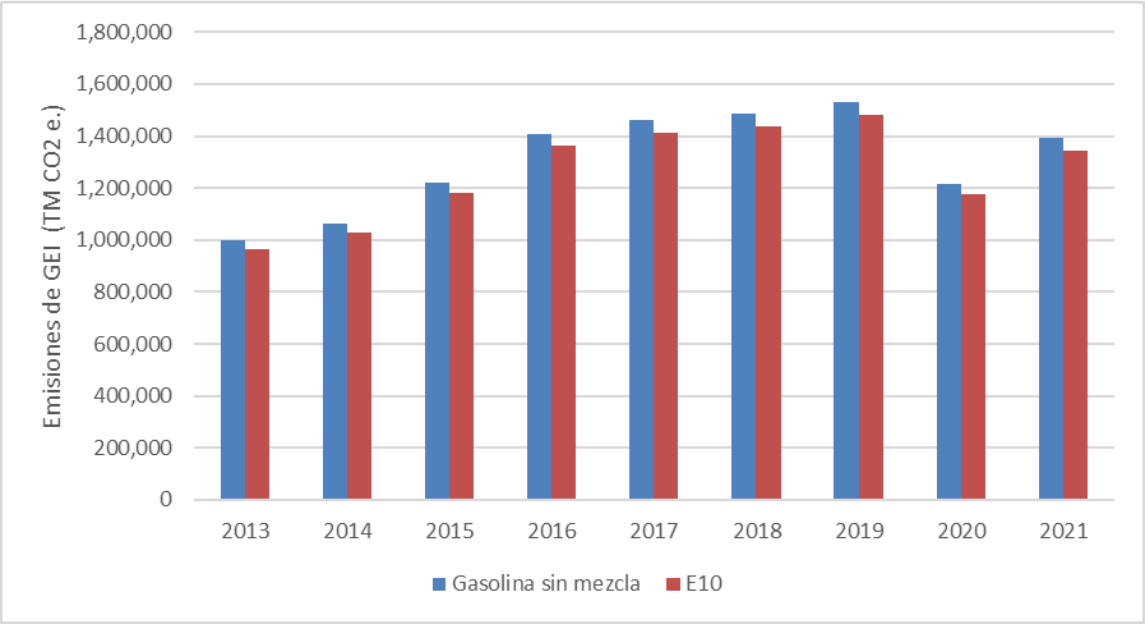


Fuente: Elaboración propia.

La figura 5.3. presenta una estimación de GEI para la gasolina fósil y para una mezcla E10 considerando únicamente las emisiones que se generan durante el proceso de combustión. Al no tomar en cuenta las variaciones en el proceso de producción de las materias primas no se hace distinción entre etanol de maíz o de caña, pues se trata de sustancias químicamente idénticas que generan la misma cantidad de emisiones durante la combustión.

En este caso, la reducción anual promedio de emisiones de GEI se estima en 43 650 TM de CO_2e para el periodo 2013-2021.

Figura 5.3. Estimación de las emisiones de GEI de la combustión de gasolina y una mezcla E10, periodo 2013-2021.



Fuente: Elaboración propia.

Al comparar el potencial de reducción de emisiones entre las estimaciones basadas en el ciclo de vida completo del producto (figura 5.2.) y las que toman en cuenta solamente la combustión (figura 5.3.), se nota que el principal efecto de disminución de emisiones de los biocombustibles se da durante la producción de la biomasa, por la fijación de carbono que ocurre durante la fotosíntesis y no tanto durante el uso final del producto; por lo que se entiende que el país podría registrar mayores beneficios ambientales asociados a la contabilidad de las emisiones en un escenario donde las materias primas para la producción del alcohol fueran cultivadas en territorio nacional.

6. Estudio financiero

Para efectos del estudio financiero se plantean cuatro escenarios de evaluación. En todos ellos se adiciona 10% de etanol a una gasolina base para producir una mezcla E10 RON 95.

Para los propósitos de este análisis se considera un único porcentaje de etanol en la mezcla, el cual fue definido como un 10%. Como se indica en el apartado 5.1 la sección "Estudio técnico", existen estudios rigurosos y confiables (véase, por ejemplo, NREL, 2021) que demuestran que cualquier vehículo fabricado con estándares internacionales en los últimos 50 años tiene una probabilidad muy alta de ser totalmente compatible con E10. Sin embargo, se tiene presente que los rangos de mezcla deberán ser definidos por el MINAE.

Las diferencias entre los escenarios radican en el tipo de gasolina base y en el origen del etanol. Estos escenarios son:

1) Gasolina RON 91 + etanol de Houston (producido a partir de maíz).
2) CBOB + etanol de Houston (producido a partir de maíz).
3) Gasolina RON 91 + etanol de Brasil (producido a partir de caña de azúcar).
4) CBOB + etanol de Brasil (producido a partir de caña de azúcar).

El análisis llevado a cabo se basa en precios históricos y busca responder a la siguiente pregunta: ¿cuál podría haber sido el impacto en el precio nacional de la gasolina RON 95 si se le hubiera adicionado 10% de etanol durante el período 2013 – 2021?

La evaluación financiera considera los siguientes tres aspectos:

a) Gasto en acondicionamiento de la infraestructura, con el fin de preparar a las terminales para llevar a cabo las mezclas. Los gastos en acondicionamiento de la infraestructura se detallan en el Cuadro 5.5.
b) Diferencial (aumento o disminución) por efecto de la compra de los productos. Se estima a partir de los precios CIF Moín de los combustibles (Gasolina Superior, CBOB, etanol de Houston y etanol de Brasil). Para obtener estos precios se utiliza la base de datos de Platts y los fletes calculados por el Departamento de Comercio Internacional de RECOPE.
c) Transporte terrestre del etanol, por medio de camiones cisterna, desde Moín hacia las otras terminales de ventas. Se estima a través de la fórmula de ARESEP para calcular el

componente de transporte en el precio de los productos limpios. Finalmente, se emplea una tasa de corte de 8,96%, correspondiente al WACC calculado por el Departamento de Estudios Económicos y Financieros, indicado en el oficio EEF-0174-2021 del 19 de agosto del 2021.

En los Cuadros 6.1 a 6.4 se muestran los flujos de caja diferenciales para cada uno de los escenarios evaluados.

Cuadro 6.1. Flujo de caja diferencial del escenario 1 (millones de dólares del 2021).

Año	Gasto en acondicionamiento de la infraestructura	Diferencial compra productos	Transporte camiones cisterna	TOTAL
Año 0	-4,49	0,00	0,00	-4,49
2013	0,00	31,79	-2,02	29,77
2014	0,00	28,07	-2,15	25,92
2015	0,00	26,23	-2,47	23,76
2016	0,00	11,29	-2,85	8,45
2017	0,00	19,02	-2,95	16,07
2018	0,00	25,08	-3,00	22,08
2019	0,00	24,53	-3,10	21,44
2020	0,00	5,86	-2,46	3,41
2021	0,00	6,05	-2,81	3,23

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 6.2. Flujo de caja diferencial del escenario 2 (millones de dólares del 2021).

Año	Gasto en acondicionamiento de la infraestructura	Diferencial compra productos	Transporte camiones cisterna	TOTAL
Año 0	-4,49	0,00	0,00	-4,49
2013	0,00	13,57	-2,02	11,55
2014	0,00	12,66	-2,15	10,51
2015	0,00	59,17	-2,47	56,70
2016	0,00	-2,83	-2,85	-5,67
2017	0,00	10,59	-2,95	7,64
2018	0,00	18,28	-3,00	15,28
2019	0,00	15,27	-3,10	12,17
2020	0,00	0,77	-2,46	-1,69
2021	0,00	0,41	-2,81	-2,40

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 6.3. Flujo de caja diferencial del escenario 3 (millones de dólares del 2021).

Año	Gasto en acondicionamiento de la infraestructura	Diferencial compra productos	Transporte camiones cisterna	TOTAL
Año 0	-4,49	0,00	0,00	-4,49
2013	0,00	30,06	-2,02	28,04
2014	0,00	25,26	-2,15	23,11
2015	0,00	19,85	-2,47	17,38
2016	0,00	-1,72	-2,85	-4,56
2017	0,00	6,05	-2,95	3,10
2018	0,00	13,65	-3,00	10,65
2019	0,00	14,90	-3,10	11,81
2020	0,00	1,67	-2,46	-0,79
2021	0,00	3,80	-2,81	0,99

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 6.4. Flujo de caja diferencial del escenario 4 (millones de dólares del 2021).

Año	Gasto en acondicionamiento de la infraestructura	Diferencial compra productos	Transporte camiones cisterna	TOTAL
Año 0	-4,49	0,00	0,00	-4,49
2013	0,00	11,84	-2,02	9,82
2014	0,00	9,84	-2,15	7,70
2015	0,00	52,78	-2,47	50,32
2016	0,00	-15,83	-2,85	-18,68
2017	0,00	-2,38	-2,95	-5,33
2018	0,00	6,85	-3,00	3,84
2019	0,00	5,64	-3,10	2,54
2020	0,00	-3,43	-2,46	-5,89
2021	0,00	-1,83	-2,81	-4,64

Fuente: Elaboración propia.

En el Cuadro 6.5. se muestran los resultados de los flujos de caja, para cada uno de los escenarios. Si la gasolina RON 95 hubiera contenido un 10% de etanol durante el período 2013 – 2021, se habría podido tener una disminución en el precio, aproximada, entre 3 y 12 colones por litro, dependiendo del escenario.

Cuadro 6.5. Resultados de los flujos de caja.

Escenario	Descripción del escenario	VAN (millones de dólares del 2021)	Disminución en el precio (colones del 2021/litro)
1	Gasolina RON 91 + etanol de Houston (producido a partir de maíz)	107,65	12,73
2	CBOB + etanol de Houston (producido a partir de maíz)	73,59	8,70
3	Gasolina RON 91 + etanol de Brasil (producido a partir de caña de azúcar)	65,82	7,78
4	CBOB + etanol de Brasil (producido a partir de caña de azúcar)	31,76	3,75

7. Conclusiones

1. Históricamente el mercado de referencia de Estados Unidos es el que presenta un precio más bajo para el etanol.
2. En la actualidad la infraestructura de las terminales de almacenamiento y venta de RECOPE requiere de algunas adecuaciones para poder llevar a cabo la mezcla de gasolina con etanol, cuyo costo asciende a 4.5 millones de dólares aproximadamente.
3. En una primera etapa se podrá llevar a cabo la formulación de gasolina con etanol en las terminales de almacenamiento y venta de RECOPE a partir del proceso de mezcla en tanques, a excepción de la Terminal Moín, la cual podrá llevar a cabo dicha formulación mediante el sistema de mezclado en línea. Para etapas posteriores, se podrán realizar análisis para establecer la conveniencia de adecuar las otras terminales, con el fin de que puedan formular las mezclas en línea.
4. Con base en datos de RITEVE del 2020 y las premisas del estudio NREL del 2021, se estima que a) la totalidad del parque vehicular del país que consume gasolina tiene una alta probabilidad de ser compatible con E10; b) cerca de dos terceras partes de ese parque vehicular, que corresponde a unidades fabricadas en 1997 o en años posteriores, tienen una alta probabilidad de ser compatible con E15; y c) casi el 30% de ese parque vehicular, correspondiente a unidades fabricadas en 2009 o en años posteriores, tienen una alta probabilidad de ser compatible con E20.
5. El uso de etanol contribuye a una disminución en las emisiones anuales asociadas al uso del combustible. En el caso del etanol derivado de maíz, si el país hubiera utilizado una mezcla con 10% de etanol (E10) entre el 2013 y el 2021, la disminución promedio anual de las emisiones hubiera sido de 72 900 TM de CO2e por año. Si en el mismo período se hubiera utilizado etanol derivado de caña de azúcar, se hubiera alcanzado una reducción de 128 000 TM de CO2e. Esas estimaciones comprenden todo el ciclo de vida del producto ("del pozo a la rueda").
6. Si se considera únicamente el proceso de combustión ("del tanque a la rueda"), una mezcla E10 de etanol derivado de maíz hubiese generado una reducción anual promedio de emisiones de 43 650 TM de CO2e entre el 2013 y el 2021.

7. Si la gasolina RON 95 hubiera contenido un 10% de etanol durante el período 2013 – 2021, se habría podido tener una disminución en el precio, aproximada, entre 3 y 12 colones por litro, dependiendo del escenario, siendo el más favorable la mezcla de Gasolina Plus 91 con etanol de maíz.

8. Recomendaciones

1. Que se promulgue el decreto que establezca la obligatoriedad de las especificaciones de calidad para las mezclas de etanol en gasolinas (INTE E1:2016) y de las especificaciones para el etanol carburante (INTE E5:2017), así como la directriz que define el porcentaje de mezcla en las gasolinas.
2. Que el proyecto de mezcla de gasolinas con etanol considere la compra del etanol con menor precio en el momento de la adquisición, independientemente del origen. Adicionalmente, que, en igualdad de precio, se adquiera el etanol nacional; y que, en igualdad de precio, se adquiera el etanol con menores emisiones de GEI.
3. Que como la estrategia de incorporar gasolinas con etanol a nivel nacional inicie en solamente Gasolina Superior para favorecer la creación de confianza del consumidos en el uso de mezclas, porque al dejarse abierta la opción de que los vehículos más antiguos sigan utilizando Gasolina Plus 91, se puede contribuir a reducir la resistencia al uso de estas mezclas.

9. Referencias bibliográficas

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

API. (2010). *API recommended practice 1626: Storing and Handling Ethanol and Gasoline-ethanol Blends at Distribution Terminals and Filling Sta*tions (Segunda ed.).

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.

Biofuel.org.uk. (2010). *Biofuels: The fuel of the future*. Obtenido de http://biofuel.org.uk/National-Fuel-Alcohol-Program.html

Bnamericas, *Producción de etanol se incrementará en Brasil.* Recuperado el 10/01/2023 de: https://www.bnamericas.com/es/analisis/produccion-de-etanol-tendera-al-alza-en-brasil#:~:text=La%20producci%C3%B3n%20de%20etanol%20en,de%20S%26P%20Global%20Commodity%20Insights.

Catsa (2020). *Destilería*. Obtenido de https://www.catsa.net/service/destileria/

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

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

Dieselnet (s.f.). *Emission Standards. Federal Standards (US EPA)*. Recuperado el 2/1/2023 de: https://dieselnet.com/standards/us/ld.php#epa

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

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

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). (2020). A*tlas de los biocombustibles líquidos 2019-2020*. Recuperado el 09/01/2023 de: https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/13974/BVE20128304e.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=Los%20cinco%20principales%20productores%20de%20bioetanol%20son%20Estados%20Unidos%20(53,%2C%20Argentina%2C%20Francia%20y%20Alemania.

Laboratorio Nacional de Energías Renovable del Departamento de Energía de los Estados Unidos, NREL (2021). *Global Ethanol-Blended-Fuel Vehicle. Compatibility Study*. Recuperado de: https://www.nrel.gov/docs/fy22osti/81252.pdf

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

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

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 (2022). *Plan nacional de desarrollo e inversión pública "Rogelio Fernández Güell" 2023-2026*. Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica. San José.

MINAE-MAG (2016). R*eglamento 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

OECD/FAO (2021), *Agricultural Outlook, OECD Agriculture statistics (database)*. Recuperado el 09/01/2023 de: https://www.oecd-ilibrary.org/sites/89d2ac54-en/index.html?itemId=/content/component/89d2ac54-en#abstract-d1e22068

Renewable Fuels Association. (2022). *Annual Fuel Ethanol Production.* Obtenido de https://ethanolrfa.org/markets-and-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

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

U.S. Energy Information Administration (EIA) (2022). *International Energy Statistics: Total Primary Energy Production*. Obtenido de https://www.eia.gov/beta/international/data/browser

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

10. Responsables

Javier Abarca Jiménez Profesional, Departamento de Gestión de Proyectos	JAVIER FRANCISCO ABARCA JIMENEZ (FIRMA) Firmado digitalmente por JAVIER FRANCISCO ABARCA JIMENEZ (FIRMA) Fecha: 2023.02.10 18:15:56 -06'00'
Andrés Barboza Jiménez Profesional, Dirección de Planificación	JOSE ANDRES BARBOZA JIMENEZ (FIRMA) Firmado digitalmente por JOSE ANDRES BARBOZA JIMENEZ (FIRMA) Fecha: 2023.02.11 08:03:18 -06'00'
Guillermo Monge Guevara Gerente de Innovación (Supervisión)	GUILLERMO MONGE GUEVARA (FIRMA) Firmado digitalmente por GUILLERMO MONGE GUEVARA (FIRMA) Fecha: 2023.02.12 16:13:14 -06'00'
Francisco Muñoz Carvajal Profesional, Departamento de Gestión de Proyectos	FRANCISCO HUMBERTO MUÑOZ CARVAJAL (FIRMA) Firmado digitalmente por FRANCISCO HUMBERTO MUÑOZ CARVAJAL (FIRMA) Fecha: 2023.02.10 23:41:03 -06'00'
Paola Orozco Ballestero Jefe, Departamento de Investigación	CATHERINE PAOLA OROZCO BALLESTERO (FIRMA) Firmado digitalmente por CATHERINE PAOLA OROZCO BALLESTERO (FIRMA) Fecha: 2023.02.10 21:17:48 -06'00'
Yariela Webb Araya Jefe, Departamento de Gestión de Proyectos (Coordinación)	YARIELA WEBB ARAYA (FIRMA) Firmado digitalmente por YARIELA WEBB ARAYA (FIRMA) Fecha: 2023.02.10 21:13:47 -06'00'