

Recepción: 19.11.2025

Revisión: 24.11.2025

Publicación: 15.01.2026

<https://orcid.org/0000-0003-4392-7028>

<https://orcid.org/0009-0005-5091-8543>

<https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

DE LA CAÑA DE AZÚCAR A LA GASOLINA: LA CIENCIA DETRÁS DEL E10 Y LOS BIOCOMBUSTIBLES EN MÉXICO

FROM SUGARCANE TO FUEL: THE SCIENCE BEHIND E10 AND BIOFUELS IN MEXICO

Jorge Raúl Cerna-Cortez ^{1*}

Gabriela Esquina Arenas ²

Galo Galeana-Herrera ³

¹Dirección de Innovación y Transferencia del Conocimiento (DITCo), Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, México.

² Biomovilidad.org, México.

Correos:

jorge.cerna@correo.buap.mx*

gabriela.esquina@correo.buap.mx

ggaleana@biomovilidad.org

Resumen

El combustible E10, una mezcla de 10 % de etanol anhidro con gasolina, se ha propuesto en diversos países (como una opción de transición para disminuir parcialmente las emisiones de gases de efecto invernadero y diversificar la matriz energética). En México, la caña de azúcar y la infraestructura existente en los ingenios ofrecen una base relevante para la producción de bioetanol; sin embargo, su adopción está asociada con retos técnicos, ambientales y de política pública. En este artículo se describe, qué es el E10 y cómo se obtiene el etanol a partir de la caña de azúcar, desde el cultivo y la extracción de jugo hasta la fermentación, destilación, deshidratación y mezcla final con gasolina. Se analizan los beneficios potenciales del E10 —mejora del octanaje, sustitución parcial de carbono fósil, ventajas económicas, ambientales y dinamización del sector cañero — y sus principales limitaciones, entre ellas el posible cambio de uso de suelo y la compatibilidad de materiales en toda la cadena de valor. Finalmente, la BUAP, Biomovilidad.org y el U.S. Grains Council en México se convierten en aliados clave para aportar datos claros y confiables sobre desempeño, emisiones y escenarios reales de uso del E10 en la transición energética del país.

Palabras clave: *etanol; biocombustibles; caña de azúcar; E10; transición energética.*

Abstract

E10 fuel, a blend of 10% anhydrous ethanol with gasoline, has been proposed in several countries as a transitional option to partially reduce greenhouse gas emissions and diversify the energy matrix. In Mexico, sugarcane production and the existing sugar mill infrastructure provide a relevant basis for bioethanol generation; however, its adoption is associated with technical, environmental, and public policy challenges. This article presents what E10 is and how ethanol is obtained from sugarcane, from crop management and juice extraction to fermentation, distillation, and final blending with gasoline. The potential benefits of E10 are discussed—higher octane number, partial substitution of fossil carbon, and increased dynamism in the sugarcane sector—together with key limitations such as possible land-use change, and material compatibility issues along the distribution chain. Finally, BUAP, Biomovilidad.org, and the U.S. Grains Council in Mexico become key partners in providing clear and reliable data on performance, emissions, and realistic E10 use scenarios for the country's energy transition.

Keywords: *ethanol; biofuels; sugarcane; E10; energy transition.*

Introducción

El transporte terrestre depende, en su mayor parte, de combustibles líquidos derivados del petróleo. Cada litro de gasolina que se quema en un motor de encendido por chispa libera dióxido de carbono (CO₂) y otros contaminantes que contribuyen al calentamiento global y al deterioro de la calidad del aire en las ciudades (U.S. Department of Energy, 2024). Frente a este panorama, distintos países han explorado la incorporación de biocombustibles como una estrategia para reducir la dependencia de combustibles fósiles y, simultáneamente, impulsar economías rurales (Asociación para la Movilidad con Biocombustibles en México, 2023; National Renewable Energy Laboratory, 2021).

Entre los biocombustibles líquidos, el etanol carburante ocupa un lugar destacado. Su producción a partir de la caña de azúcar está ampliamente desarrollada en países como Brasil y ha comenzado a discutirse con mayor fuerza en México (Asociación para la Movilidad con Biocombustibles en México, 2024). Una de las formas más sencillas de incorporar etanol al sistema actual de distribución de combustibles es mediante mezclas de baja concentración, como el E10, que pueden utilizarse en la mayoría de los vehículos de gasolina sin modificaciones mayores (Abel et al., 2021; U.S. Grains Council, 2021). El objetivo de este artículo es explicar, de manera clara pero rigurosa, la ciencia que hay detrás del E10 y revisar sus oportunidades y retos en el contexto mexicano, con especial énfasis en el papel que puede desempeñar la comunidad académica y la infraestructura científica de la BUAP, en diálogo con iniciativas especializadas como Biomovilidad.org, enfocadas en la movilidad con biocombustibles en el país (Asociación para la Movilidad con Biocombustibles en México, s. f.).

¿Qué es el E10?

El término **E10** se refiere a una gasolina que contiene 10 % de etanol anhidro en volumen. La mezcla se formula a partir de dos componentes principales: una gasolina base, constituida por

una combinación compleja de hidrocarburos ligeros, **y etanol anhidro (C₂H₅OH)**, es decir, etanol combustible cuyo contenido de agua se mantiene **por debajo de 1 % en volumen**, de acuerdo con las especificaciones usuales de etanol carburante (National Renewable Energy Laboratory, 1996, 2021).

Desde el punto de vista de sus propiedades, la incorporación de etanol al combustible tiene varios efectos relevantes. En primer lugar, el etanol posee un número de octano elevado, por lo que su uso mejora la resistencia a la detonación de la mezcla y contribuye a un mejor desempeño del motor cuando el combustible está correctamente formulado (National Renewable Energy Laboratory, 1996). Además, al tratarse de un compuesto oxigenado, favorece bajo ciertas condiciones una combustión más completa, lo que puede contribuir a reducir algunos contaminantes locales. Finalmente, el carbono del etanol proviene del CO₂ atmosférico capturado por la planta durante la fotosíntesis; esto modifica de manera positiva el balance de emisiones a lo largo del ciclo de vida del combustible frente a la gasolina fósil pura (U.S. Department of Energy, 2024; National Renewable Energy Laboratory, 2021).

Como todo combustible, el etanol también presenta características que deben considerarse en el diseño de la cadena de suministro. Su naturaleza polar e higroscópica hace que pueda interactuar de manera distinta con el agua y con ciertos materiales metálicos y poliméricos en tanques, tuberías y sistemas de inyección (National Renewable Energy Laboratory, 1996; Instituto Mexicano del Petróleo, 2018). Sin embargo, la experiencia internacional y estudios de compatibilidad vehicular muestran que, con **especificaciones claras, selección adecuada de materiales y buenas prácticas de operación**, estas cuestiones se gestionan de forma segura: prácticamente toda la flota de gasolina fabricada en los últimos cincuenta años es compatible con E10 y una fracción importante de los vehículos

más recientes tolera incluso mezclas superiores (Abel et al., 2021; U.S. Grains Council, 2021; National Renewable Energy Laboratory, 2021). En otras palabras, **los beneficios energéticos y ambientales del etanol** se pueden aprovechar siempre que se acompañen de normas técnicas y de operación bien diseñadas.

De la caña al etanol: cadena de valor

El camino de la caña al combustible integra etapas agrícolas, biotecnológicas e industriales. Aunque existen múltiples variantes de proceso, se pueden distinguir al menos cuatro pasos fundamentales, ampliamente descritos en la literatura sobre bioetanol a partir de caña (National Renewable Energy Laboratory, 1996):

Producción agrícola de caña. La caña de azúcar es una planta C4 altamente eficiente en la conversión de energía solar en biomasa. En los tallos se acumula una elevada concentración de sacarosa,

principal sustrato para la producción de etanol. Las decisiones agronómicas —variedad, manejo de fertilizantes, uso de residuos, prácticas de riego— condicionan la productividad por hectárea y la huella ambiental del biocombustible (U.S. Department of Energy, 2024).

Extracción de jugo y obtención de azúcares fermentables. En el ingenio azucarero la caña se somete a operaciones de molienda y extracción que permiten obtener un jugo rico en sacarosa. Tradicionalmente esta corriente se destina a la producción de azúcar, pero una fracción puede dirigirse a la elaboración de etanol. También es posible utilizar melazas, subproducto denso y viscoso que aún contiene azúcares fermentables (National Renewable Energy Laboratory, 1996).

Fermentación alcohólica y destilación. En la etapa de fermentación se emplean levaduras, mayoritariamente *Saccharomyces cerevisiae*, que transforman los azúcares en etanol y CO_2 .



Figura 1. Componentes y Propiedades de la Gasolina E10. Fuente: elaboración propia

La eficiencia del proceso depende de la concentración de sustrato, la temperatura, el pH y la tolerancia de las levaduras al alcohol. El caldo fermentado resultante se somete a destilación fraccionada para concentrar el etanol y separar impurezas (National Renewable Energy Laboratory, 1996).

Deshidratación, mezcla y control de calidad. El etanol hidratado debe deshidratarse mediante procesos adicionales (por ejemplo, uso de tamices

moleculares) hasta alcanzar purezas mayores a 99.5 %. El etanol anhidro se almacena y transporta bajo condiciones controladas y se mezcla con la gasolina en instalaciones industriales —como refinерías, terminales de almacenamiento y reparto o puntos de llenado de autotanques— siguiendo especificaciones estrictas de presión de vapor, estabilidad, contenido máximo de agua y límites de contaminantes, definidas por la regulación mexicana aplicable (Comisión Reguladora de Energía, 2018; Instituto Mexicano del Petróleo, 2018).



Figura 2. Etapas en la producción de etanol. Fuente: elaboración propia

Beneficios potenciales del E10 en México

En el debate público, el E10 suele presentarse como un combustible "más limpio". La evidencia disponible sugiere varios beneficios, aunque siempre están matizados por el contexto de implementación.

En primer lugar, se espera una reducción parcial de las emisiones netas de CO₂ en el ciclo de vida, al sustituir una fracción de gasolina por etanol de origen biológico (U.S. Department of Energy, 2024; National Renewable Energy Laboratory, 2021). El impacto final depende de las prácticas agrícolas, la eficiencia del ingenio y la logística de transporte. En segundo lugar, el etanol contribuye a aumentar el octanaje del combustible, lo cual puede permitir formulaciones más estables y con menor necesidad de ciertos aditivos petroquímicos (National Renewable Energy Laboratory, 1996). Finalmente, la producción de etanol carburante abre la posibilidad de diversificar la

cadena de valor de la caña de azúcar, incorporando bioenergía y coproductos de mayor valor agregado, así como esquemas de cogeneración eléctrica (Asociación para la Movilidad con Biocombustibles en México, 2023, 2024).

Panorama internacional, compatibilidad vehicular y experiencias piloto

De acuerdo con la información compilada por Biomovilidad.org y por el U.S. Grains Council, más de 60 países en el mundo utilizan hoy gasolinas mezcladas con bioetanol en concentraciones que superan habitualmente el 5–6 %, con una tendencia clara a incrementar progresivamente el porcentaje de etanol —de mezclas E10 hacia porcentajes incluso superiores— como parte de sus estrategias para mitigar el cambio climático, mejorar la calidad del aire y dinamizar las economías rurales (Asociación para la Movilidad con Biocombustibles en México, 2023, 2024; U.S. Grains Council, 2021).

En la Unión Europea, la Directiva (UE) 2018/2001 establece que el sector transporte debe alcanzar al menos el 14 % de energías renovables hacia 2030, meta en la que los biocombustibles líquidos juegan un papel relevante (European Union, 2018; Joint Research Centre, 2018). En Estados Unidos, los programas de gasolinas reformuladas que incluyen bioetanol han demostrado reducciones significativas de compuestos orgánicos volátiles y otros contaminantes de criterio (U.S. Department of Energy, 2024; National Renewable Energy Laboratory, 2021).

En México, estudios del Instituto Mexicano del Petróleo sobre gasolinas E10 en automotores han documentado el potencial de estas mezclas para reducir emisiones en zonas de alta concentración vehicular (Instituto Mexicano del Petróleo, 2018; Comisión Reguladora de Energía, 2018; Forbes Staff, 2018). Por otra parte, evaluaciones internacionales como el Global Ethanol-Blended Fuel Vehicle Compatibility Study indican que prácticamente todos los vehículos fabricados en los últimos

cincuenta años son compatibles con E10 y que una fracción importante de la flota más reciente puede utilizar incluso mezclas de etanol superiores, siempre que se cuente con el marco regulatorio adecuado (Abel et al., 2021; U.S. Grains Council, 2021; National Renewable Energy Laboratory, 2021).

Biomovilidad.org —Asociación para la Movilidad con Biocombustibles en México— y el U.S. Grains Council han impulsado proyectos piloto que ilustran estos beneficios en la práctica (Asociación para la Movilidad con Biocombustibles en México, s. f.; U.S. Grains Council, 2021). Un ejemplo es el uso de mezclas E85 en flotas de taxis, donde se han observado menores costos operativos por kilómetro y reducciones apreciables en las emisiones de CO₂ por vehículo en comparación con la gasolina convencional. Este tipo de experiencias aporta insumos concretos para valorar la factibilidad técnica y económica de escalar el uso de E10 en el país (Abel et al., 2021; U.S. Department of Energy, 2024).

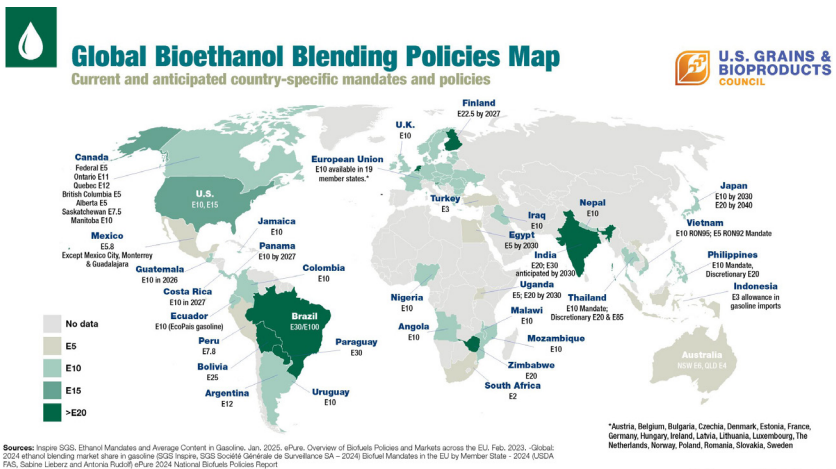


Figura 3. Mapa de Políticas Globales de Mezclado de Bioetanol. Fuente USGBC (<https://grains.org/infographic/bioethanol-blending-policies-map/>)

Retos técnicos, ambientales y de política pública

Los beneficios potenciales del E10 solo se materializan si se afronta una serie de retos que abarcan desde el diseño del proceso hasta la regulación. Entre los desafíos más relevantes se encuentran:

Uso de suelo y competencia con alimentos. El crecimiento de la producción de etanol no debería impulsarse a costa de la deforestación o del desplazamiento de cultivos básicos; este debe impulsarse a partir de la tecnificación y automatización del proceso. El aprovechamiento de melazas y residuos agrícolas puede atenuar este riesgo, pero requiere planificación y marcos de política claros (U.S. Department of Energy, 2024).

Balance energético e hídrico. Para que el E10 contribuya realmente a la transición energética, la energía fósil invertida en fertilizantes, transporte y operación industrial debe ser menor que la energía renovable obtenida. De manera similar, en regiones con estrés hídrico es necesario evaluar con cuidado la disponibilidad de agua para riego y procesos industriales (National Renewable Energy Laboratory, 1996; U.S. Department of Energy, 2024).

Compatibilidad de materiales e infraestructura. La presencia de etanol exige revisar el comportamiento de materiales metálicos y poliméricos en tanques, ductos, bombas y vehículos. Ensayos de laboratorio y pruebas aceleradas de envejecimiento resultan imprescindibles para garantizar la integridad de la infraestructura (Instituto Mexicano del Petróleo, 2018; Comisión Reguladora de Energía, 2018).

Marco regulatorio y trazabilidad

La introducción del E10 requiere normas claras sobre especificaciones de calidad, mezclado, etiquetado en estaciones de servicio y monitoreo de emisiones (Comisión Reguladora de Energía, 2018; European Union, 2018). Sin un marco coherente, los beneficios ambientales pueden diluirse y aumentar la desconfianza social.

El papel de la academia y de la BUAP

Las universidades públicas se encuentran en una posición privilegiada para aportar evidencia científica independiente al debate sobre biocombustibles. En particular, la BUAP, a través de la Dirección de Innovación y Transferencia del Conocimiento (DITCo) y del

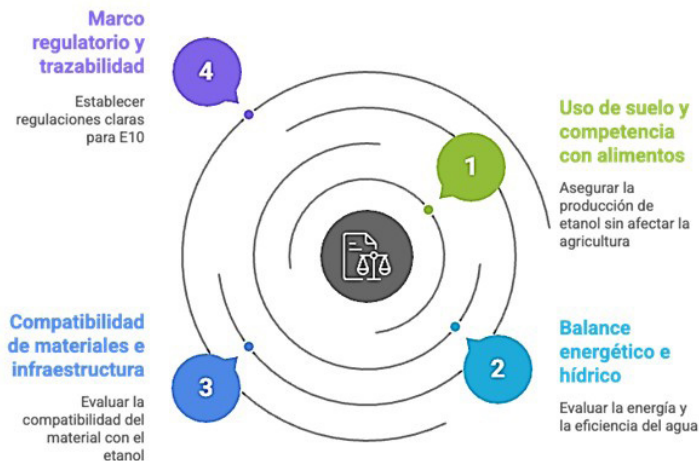


Figura 4. Retos que enfrenta la producción de E10. Fuente: elaboración propia

Laboratorio de Innovación y Materiales Aplicados (LIMA), puede articular proyectos de investigación aplicada que aborden distintos aspectos de la cadena caña-etanol-combustible (National Renewable Energy Laboratory, 1996; U.S. Department of Energy, 2024).

Entre las líneas de trabajo posibles se incluyen la caracterización de propiedades fisicoquímicas de mezclas E10, la evaluación de la interacción del combustible con materiales metálicos y poliméricos, el diseño de pruebas de desempeño y emisiones en colaboración con laboratorios de motores, y el desarrollo de modelos de análisis de ciclo de vida que integren datos agrícolas, Industriales y de uso final (Instituto Mexicano del Petróleo, 2018; Asociación para la Movilidad con Biocombustibles en México, 2023, 2024).

Esta generación de conocimiento no solo tiene valor académico, sino que también sirve como insumo para que autoridades y sector productivo diseñen políticas y estrategias más informadas.

En este contexto, la colaboración con iniciativas especializadas como Biomovilidad.org resulta

clave. Ello aporta una visión complementaria basada en el análisis de política pública, la experiencia en proyectos piloto con mezclas de etanol para el transporte y el diálogo con la industria automotriz y de estaciones de servicio (Asociación para la Movilidad con Biocombustibles en México, s. f., 2024). La articulación entre la evidencia generada en laboratorios universitarios y la experiencia de campo de actores como Biomovilidad.org permite construir una mirada más completa sobre el papel del E10 en la transición energética mexicana.

Más allá del E10: Biocombustibles como plataforma

Aunque este artículo se centra en el E10, la discusión forma parte de un panorama más amplio de biocombustibles avanzados: mezclas con mayor contenido de etanol, etanol de segunda generación a partir de residuos lignocelulósicos, biocombustibles para aviación (SAF) y combinaciones con la electrificación del transporte (U.S. Department of Energy, 2024). El caso del E10 puede verse como una escuela de transición energética: obliga a pensar en cadenas



Figura 5. El papel de los biocombustibles en la transición energética hacia sistemas más sostenibles.

Fuente: elaboración propia

de suministro más complejas, en políticas que articulen agricultura y energía, y en la necesidad de sistemas de medición confiables (Joint Research Centre, 2018; European Union, 2018).

Para México, avanzar en biocombustibles no solo implica adoptar tecnologías importadas, sino también desarrollar soluciones propias, adaptadas a sus condiciones de suelo, clima y estructura industrial (Asociación para la Movilidad con Biocombustibles en México, 2023, 2024). En esa tarea, la ciencia que se realiza en universidades públicas puede marcar la diferencia.

Conclusiones

El E10 representa una de las rutas más inmediatas para incorporar biocombustibles a la matriz energética del transporte sin modificar de manera radical la infraestructura existente. No obstante,

su potencial real depende de cómo se gestionen los aspectos agrícolas, tecnológicos, ambientales y regulatorios a lo largo de toda la cadena caña-etanol-combustible.

Comprender la ciencia que subyace a cada etapa —desde la fotosíntesis en el campo cañero hasta la combustión en el motor— permite superar los discursos simplistas y avanzar hacia una discusión basada en datos y análisis de ciclo de vida. En este escenario, la participación activa de las universidades públicas resulta esencial. Al articular investigación aplicada, formación de recursos humanos y colaboración con los sectores productivo y gubernamental, instituciones como la BUAP pueden contribuir a que el debate sobre el E10 y los biocombustibles en México se traduzca en decisiones energéticas más responsables, técnicamente sólidas y socialmente justas.



Figura 6. Biocombustibles la clave de la transición energética. (Fuente: U.S. Department of Energy, 2024)

Conflicto de intereses

Los autores de este manuscrito declaran no tener ningún conflicto de interés.

Declaración de privacidad

Los datos de este artículo, así como los detalles técnicos para la realización del experimento, se pueden compartir a solicitud directa con el autor de correspondencia.

Los datos personales facilitados por los autores a RD-ICUAP se usarán exclusivamente para los fines declarados por la misma, no estando disponibles para ningún otro propósito ni proporcionados a terceros.

Los autores se descargan de responsabilidad (INTELIGENCIA ARTIFICIAL) Los autores declaran por la presente que NO se han utilizado tecnologías de IA generativa, tales como modelos de lenguaje grandes (*ChatGPT, COPILOT, etc.*) y generadores de texto a imagen, durante la redacción o edición de este manuscrito.

Agradecimientos

Cobos Ontiveros agradece a la Secretaría de Ciencias Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) antes CONACYT por la beca de Estancia Posdoctoral (CVU 623751). Los autores agradecen a la Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado (VIEP-BUAP), al Laboratorio Nacional de Supercómputo del Sureste de México (LNS-BUAP) por los recursos computacionales y al Cuerpo Académico BUAP-CA-263 de PRODEP (SEP, México).

Referencias

- Abel, R. C., Coney, K., Johnson, C., Thornton, M. J., Zigler, B. T., & McCormick, R. L. (2021). Global ethanol-blended-fuel vehicle compatibility study (NREL/TP-5400-81252). National Renewable Energy Laboratory. <https://doi.org/10.2172/1832216>
- Asociación para la Movilidad con Biocombustibles en México. (2023). Biocombustibles. Biomovilidad.org. <https://biomovilidad.org/biocombustibles/biomovilidad.org>
- Asociación para la Movilidad con Biocombustibles en México. (2024, 26 marzo). El bioetanol debe ser parte de programas de descarbonización del gobierno y de Pemex. Biomovilidad.org. <https://biomovilidad.org/el-bioetanol-debe-ser-parte-de-programas-de-descarbonizacion-del-gobierno-y-de-pemex/biomovilidad.org>
- Asociación para la Movilidad con Biocombustibles en México. (s. f.). Asociación para la Movilidad con Biocombustibles en México. Biomovilidad.org. Recuperado de <https://biomovilidad.org/ambm/biomovilidad.org>
- Comisión Reguladora de Energía. (2018, 3 octubre). La CRE da a conocer estudio realizado por el IMP para uso de gasolinas con etanol en el Valle de México. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/cre/>
- Forbes Staff. (2018, 5 octubre). IMP avala etanol al 10% en gasolinas de la Zona Metropolitana. Forbes México. <https://forbes.com.mx/imp-avala-etanol-al-10-en-gasolinas-de-la-zona-metropolitana/> Forbes México
- Instituto Mexicano del Petróleo. (2018). Evaluación de gasolina E10 en automotores en la Zona Metropolitana del Valle de México [Informe técnico]. Secretaría de Energía / Comisión Reguladora de Energía. Forbes México
- Joint Research Centre. (2018). Renewable Energy – Recast to 2030 (RED II). European Commission. [JRC: EU Science Hub](https://joint-research-centre.ec.europa.eu/renewable-energy-recast-2030-red-ii_en>JRC: EU Science Hub</p>
<p>European Union. (2018). Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast). Official Journal of the European Union, L 328/82. <a href=)
- National Renewable Energy Laboratory. (1996). Performance of ethanol as a transportation fuel, Chapter 3. En C. E. Wyman (Ed.), Handbook on Bioethanol: Production and Utilization (pp. 37–60). Taylor & Francis. [research-hub.nrel.gov](https://www.nrel.gov)
- National Renewable Energy Laboratory. (2021). Ethanol blends: Providing a renewable fuel choice (NREL/FS-5400-82231). National Renewable Energy Laboratory. <https://www.nrel.gov/publications>
- U.S. Department of Energy. (2024). Biofuel basics. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, Bioenergy Technologies Office. <https://www.energy.gov/eere/bioenergy/biofuel-basics> energy.gov
- U.S. Grains Council. (2021). New study demonstrates ethanol blend compatibility of vehicles around the world. U.S. Grains Council. <https://grains.org/new-study-demonstrates-ethanol-blend-compatibility-of-vehicles-around-the-world/>