

EL HVO COMO COMBUSTIBLE LIMPIO EN ARGENTINA: ANÁLISIS DE IMPACTO Y OBSTÁCULOS CLAVES

Juan Pablo Cecchini¹, Ernesto E. Coutsiers^{2,3}, Mariela Colombo², Viviana A. Venturino⁴,
Ramiro Rodríguez^{2,5}

¹Universidad Nacional de Rafaela, Santa Fe, Argentina.

Bv. Roca 989, CP 2300, Rafaela, Argentina. juanp.cecchini@unraf.edu.ar

²Calden Consultoría SRL – Av. Padre Mariani 478, Villa Allende (5105), Córdoba
www.caldenconsultoria.com +54 351 7000717, mcolombo@caldenconsultoria.com

³Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de Salta - Av. Bolivia 5150, Salta (4408),
www.exactas.unsa.edu.ar +54 387 4255408, ecoutsiers@exa.unsa.edu.ar

⁴GIADDEH - Grupo de Investigación Aplicada de Estudio y Difusión de Emprendimientos
Energéticos basados en hidrógeno, UTN Concordia; vventurino2015@gmail.com

⁵Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba,
Córdoba, Argentina. ramiro.rodriguez@unc.edu.ar

RESUMEN. El Aceite Vegetal Hidrotratado es una alternativa renovable al diésel fósil, clave para la descarbonización del transporte. Este trabajo evalúa el potencial ambiental de la adopción de este diésel renovable en Argentina, enfocándose en la reducción de emisiones de carbono en vehículos con motores de encendido por compresión. Se analizan las propiedades fisicoquímicas del combustible, su impacto en las emisiones del motor, la viabilidad económica y los desafíos de una cadena de suministro sostenible. Los cálculos de la huella de carbono se basan en metodologías de Análisis de Ciclo de Vida del pozo a la rueda, obteniéndose una reducción neta del 75% en las emisiones de carbono para el combustible puro, similar a la observada en estudios internacionales.

A nivel económico, el análisis de paridad de costos muestra que, al considerar el impuesto a las emisiones de carbono, el precio del diésel renovable para una planta piloto se igualaría al precio del diésel fósil (punto de equilibrio) en el año 2043. La implementación a gran escala dependerá críticamente de la disponibilidad de materias primas sostenibles, como el aceite de soja, grasas animales y el aceite de cocina usado, y de políticas que superen la brecha de costos inicial.

Palabras clave: Aceite Vegetal Hidrotratado, diésel renovable, emisiones de CO₂, desfosilización, descarbonización.

INTRODUCCIÓN

El interés global en la mitigación del cambio climático impulsa la búsqueda de combustibles más limpios para el sector transporte, uno de los mayores emisores de carbono. En este contexto, el Aceite Vegetal Hidrotratado (HVO), también llamado "diésel renovable" o "diésel verde" (Ashraful et al., 2014) emerge como un biocombustible avanzado con gran potencial para la descarbonización de la flota de vehículos con motores de encendido por compresión (CI), especialmente en el transporte pesado.

El HVO se distingue por ser un reemplazo directo ("*drop-in*") del diésel fósil, lo que permite su uso en motores CI existentes sin necesidad de modificaciones. Esto lo diferencia del biodiésel de primera generación (*FAME*, *Fatty Acid Methyl Ester*) resultante mayormente del proceso de transesterificación, con el cual comparte algunas materias primas, pero difiere en su proceso de producción y composición química (Ashraful et al., 2014). El HVO se produce mediante el hidroprocesamiento catalítico de



materias primas renovables como aceites vegetales, grasas animales o materiales de desecho, incluyendo el aceite de cocina usado (*UCO*, por sus siglas en inglés *Used Cooking Oil*). Su composición predominantemente parafínica (hidrocarburos saturados o alcanos) lo hace químicamente similar al diésel fósil, libre de azufre y aromáticos (Szeto y Leung, 2022). La adopción de combustibles como el HVO es una preocupación global; la Comunidad Europea, EE. UU. y países como Brasil evalúan su incorporación a la matriz energética (Azeredo et al., 2025).

Este estudio se propone analizar la adopción de HVO en Argentina, enfocándose en evaluar su potencial ambiental, es decir, su capacidad para reducir las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) en la flota diésel. Además, se consideran los desafíos económicos y de suministro para una posible implementación, comenzando por la proyección de costos para una planta piloto. Finalmente, el trabajo busca sintetizar el conocimiento actual sobre las propiedades del HVO, su impacto en las emisiones del motor y su sostenibilidad ambiental mediante un enfoque de ciclo de vida.

Producción y Propiedades del HVO

El proceso principal para producir este biocombustible es el hidropesamiento o hidrotatamiento de materias primas lipídicas (Gomes et al., 2025), en el que se convierten triglicéridos y ácidos grasos libres en hidrocarburos parafínicos aptos para combustible diésel (Pérez-Rangel et al., 2025). Operando a altas temperaturas (300°C - 450°C) y presiones de hidrógeno (H_2) (3 MPa-20 MPa), con catalizadores heterogéneos, se eliminan el oxígeno (O_2) y los dobles enlaces (Vásquez et al., 2017). El objetivo central es la desoxigenación de las moléculas de ácidos grasos, lo que ocurre principalmente por tres rutas que pueden darse de manera independiente, pero en la práctica suelen ocurrir en paralelo y competir entre sí, dependiendo de las condiciones de operación:

- ***Hidrodesoxigenación (HDO)***. El O_2 se elimina como agua (H_2O) mediante la reacción con H_2 . Esta vía produce n-alcanos (parafinas de cadena lineal) con el mismo número de átomos de carbono que la cadena de ácido graso original. Esta ruta consume una cantidad significativa de H_2 .
- ***Descarboxilación (DCO₂)***. El grupo carboxilo ($-\text{COOH}$) se elimina como CO_2 . Esta vía produce n-alcanos con un átomo de carbono menos que el ácido graso original y, lo que es importante, no consume H_2 .
- ***Descarbonilación (DCO)***. El O_2 se elimina como monóxido de carbono (CO) y agua. Esta ruta también produce n-alcanos con un átomo de carbono menos y consume H_2 .

El producto es esencialmente libre de azufre y compuestos aromáticos (Ashraful et al., 2014). Una ventaja clave es la flexibilidad de materia prima, pudiendo usar: aceites vegetales convencionales y no comestibles, grasas animales de baja calidad y residuos como el *UCO* y el *POME* (*Palm Oil Mill Effluent*) (aceite de efluentes de molinos de aceite de palma). Para mejorar las propiedades a baja temperatura del HVO, se suelen emplear pasos catalíticos adicionales como la isomerización y el hidrocrqueo (Gomes et al., 2025). La isomerización reorganiza las n-parafinas en iso-parafinas ramificadas, mejorando el punto de enturbiamiento y la fluidez (Pérez-Rangel et al., 2025).

Las propiedades clave del HVO relevantes para la combustión incluyen (Dimitriadis et al., 2018):

- ***Composición***. Casi en su totalidad hidrocarburos parafínicos, sin azufre, aromáticos ni oxígeno
- ***Número de Cetano***. (>70), más alto que el diésel convencional (DC) (40 - 55) y el *FAME* (>50).
- ***Densidad***. (~ 775 - 785 kg/m^3), generalmente más baja que el DC (~ 830 - 850 kg/m^3).
- ***Poder Calorífico Inferior (PCI)***. Mayor que el DC por unidad de masa ($\sim 44 \text{ MJ/kg}$) pero ligeramente menor o comparable por volumen debido a su menor densidad.
- ***Viscosidad Cinemática***. Exhibe una viscosidad cinemática más baja que DC (~ 2.5 - $3.5 \text{ mm}^2/\text{s}$).
- ***Propiedades de Flujo en Frío***. Mejores al *ULSD* (*Ultra-Low Sulfur Diesel*) relacionadas con su menor viscosidad
- ***Lubricidad***. Muy baja, requiere aditivos mejoradores de lubricidad.
- ***Estabilidad***. Demuestra buena estabilidad al almacenamiento y la oxidación, superior al *FAME*.

A continuación, se detallan algunas de las diferencias y similitudes clave entre el HVO y el *ULSD* (Tabla 1), así como entre el HVO y el *FAME* (Tabla 2).

Tabla 1: Comparación HVO vs. ULSD

Propiedad/ Característica	HVO vs ULSD
Origen	El HVO se produce a partir de materia orgánica renovable, mientras que <i>ULSD</i> tiene una base de petróleo fósil
Composición Química	El HVO no contiene azufre ni aromáticos, a diferencia del <i>ULSD</i> . La ausencia de estos componentes contribuye a una combustión más limpia
Número de Cetano	El HVO tiene un número de cetano significativamente superior (70-90) al <i>ULSD</i> (≈ 51)
Propiedades de Flujo en Frío (FF)	El HVO exhibe excelentes propiedades de FF, con un punto de enturbiamiento y de obstrucción del filtro en frío por debajo de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, superando al <i>ULSD</i> en climas fríos, debido al mayor punto de solidificación o congelamiento de este último, por su contenido de parafinas y aromáticos.
Densidad y Contenido Energético	Densidad del HVO $\approx 7\% <$ densidad del <i>ULSD</i> Poder calorífico HVO = 44 MJ/kg; Poder calorífico <i>ULSD</i> = 42,6 MJ/kg (La diferencia se debe al contenido de H_2)

Tabla 2: Comparación HVO vs. FAME

Propiedad/ Característica	HVO vs FAME
Materias Primas	Ambos se producen a partir de aceites vegetales no comestibles, grasas animales, lípidos de desecho
Proceso de Producción	El HVO se produce mediante hidrotratamiento, utilizando H_2 a alta presión y temperatura para convertir aceites y grasas en un diésel puro. Este proceso es más costoso, requiriendo instalaciones complejas y gasificación para obtener el H_2 . En contraste, el biodiésel se fabrica mediante transesterificación con metanol y un catalizador, resultando en ésteres metílicos de ácidos grasos (<i>FAME</i>) y glicerol como subproducto
Composición Química	El biodiésel contiene grupos oxigenados, lo que afecta su estabilidad, mientras que el HVO no los contiene. La ausencia de oxígeno mejora su estabilidad a la oxidación y su vida útil de almacenamiento
Subproductos	La producción de biodiésel genera glicerol, mientras que la producción de HVO genera propano y agua.
Estabilidad y mezcla	El HVO tiene una excelente estabilidad a la oxidación y no es propenso al crecimiento bacteriano, a diferencia del biodiésel. El HVO se puede mezclar con combustible fósil en proporciones más altas que el biodiésel
Propiedades de Flujo en Frío (FF)	El HVO ofrece mejores propiedades de FF que el <i>FAME</i> lo que es una ventaja en climas fríos, ya que éste último, al compuesto principalmente por ésteres de ácidos grasos, tiende a solidificarse más fácilmente

Impacto en las Emisiones del Motor

El uso de *HVO* en motores diésel conduce a reducciones consistentes y significativas en las emisiones de material particulado (*PM*), monóxido de carbono (*CO*) e hidrocarburos no quemados (*UHC*), debido a la ausencia de aromáticos y azufre, y a su alto número de cetano que favorece una combustión más completa (Dimitriadis et al., 2018; Pérez-Rangel et al., 2025).

El efecto sobre las emisiones de óxidos de nitrógeno (*NOx*) presenta aumentos y disminuciones reportados dependiendo de la tecnología del motor, las condiciones de operación (temperatura de combustión) y la calibración. Sin embargo, el retraso del tiempo de inyección, pueden mitigar los aumentos de *NOx* y reducir simultáneamente emisiones de *NOx* y hollín (Dimitriadis et al., 2018).

En términos de *CO*₂ de escape, el HVO puro (HVO100) resulta en emisiones aproximadamente un 4% más bajas en comparación con el DC. Esta reducción se atribuye a la menor relación carbono-hidrógeno (*C/H*) inherente a su estructura parafínica. En vehículos modernos Euro 6b equipados con sistemas de postratamiento eficientes (SCR, LNT, DPF), el impacto de las mezclas de HVO o HVO-100 sobre los

contaminantes criterio regulados (NO_x, PM, CO, UHC) disminuye en gran medida y el beneficio de CO₂ en el escape persiste (Hunicz et al., 2025; Dobrzyńska et al., 2020; Suarez-Bertoa et al., 2019).

Análisis del Ciclo de Vida (ACV) y Sostenibilidad

Evaluar el verdadero mérito ambiental de un biocombustible requiere un enfoque de Análisis del Ciclo de Vida (ACV), que considera los impactos ambientales acumulativos, como las emisiones de GEI, a lo largo de toda la cadena de valor ("*del pozo a la rueda*"). El HVO ofrece el potencial de reducciones sustanciales de GEI, con cifras que van del 60% al 95% menos de emisiones equivalentes de CO₂ en comparación con el DC.

Sin embargo, los ahorros reales de GEI son altamente sensibles a varios factores, especialmente el tipo de materia prima (MP) utilizada y los impactos asociados al cambio de uso del suelo (*LUC, Land Use Change*). Las MP cultivadas específicamente para combustible (p. ej., aceite de palma sin certificación) conllevan mayor huella de GEI debido a la deforestación y la conversión de ecosistemas. Las MP residuales, como el *UCO* o el aceite de resina (*tall oil*), tienen un perfil de GEI más favorable.

El costo de la MP suele representar la mayor parte del costo final de producción del HVO (60%-75%). Esto puede influir en la elección de MP, favoreciendo opciones más baratas con perfiles de sostenibilidad menos favorables. La producción de HVO es también un proceso intensivo en energía y consume H₂, cuya fuente (renovable o no) impacta significativamente el balance general de GEI (Ajeeb et al., 2025; Gomes et al., 2025; Soam y Hillman, 2019; Ashraful et al., 2014).

METODOLOGÍA y DESARROLLO

Metodología para la Adopción en Argentina

Para evaluar el potencial de adopción en Argentina, se propone una metodología basada en la extrapolación de los hallazgos y modelos de estudios existentes, particularmente el caso brasileño (Pérez-Rangel et al., 2025) con algunas modificaciones.

- ***Análisis de Suministro.*** Se identifica las principales materias primas disponibles en Argentina (ej., aceites vegetales locales, grasas animales, *UCO*) y se evalúa su potencial de suministro sostenible frente a la demanda proyectada, considerando las lecciones del caso sueco (Soam y Hillman, 2019). Se analizan las capacidades de producción y el potencial uso de este biocombustible en el país.
- ***Cálculo de Emisiones de CO₂.*** Se utilizan los factores de emisión (FE) de CO₂ para el DC, el biodiésel de aceite de soja y el HVO estimados por (Pérez-Rangel et al., 2025), asumiendo una reducción neta de 75% en las emisiones de CO₂ para el HVO puro, y de 78.45% para el biodiésel puro, ambas basadas en análisis de ciclo de vida (ACV) "*del pozo a la rueda*" que considera la absorción de CO₂ por los cultivos de materia prima, resultando los FE en FE_D = 2,68 Mt CO₂/Mm³ para DC, FE_{BD} = 0,58 Mt CO₂/Mm³ para el biodiesel y FE_{HVO} = 0,61 Mt CO₂/Mm³ para el HVO. Para la realización de estos cálculos tuvieron en cuenta dos puntos importantes que son:
 - ***Escenarios de Mezcla.*** Se modelaron diferentes escenarios de mezcla de combustibles, considerando la incorporación de HVO: **a)** El corte actual vendido en Argentina que contiene 92,5% de diésel fósil y 7,5% de biodiesel según ley 27.640 (Régimen de Corte, 2022). **b)** La incorporación de 7,5% de HVO al corte actual (HVO7,5) quedando con un 7,5% de biodiesel y el 85% restante de DC, que por disponibilidad de materias primas la situación más factible y **c)** La utilización de solamente de HVO (HVO100) que es una situación hipotética deseable pero poco probable por diversos motivos que pueden ser de costos y/o abastecimiento. En base a estas proporciones y los FE mencionados arriba se calcularon los correspondientes para FE_{corte actual} = 2,53 Mt CO₂/Mm³ y FE_{HVO7,5} = 2,37 Mt CO₂/Mm³.
 - ***Proyección de la Flota Argentina.*** Se utilizaron datos históricos y proyecciones del parque automotor diésel argentino que según (AFAC, 2025) creció un 1% el último año por lo que se tomó ese porcentaje para todos los años siguientes. Se calculó la proporción de la flota diésel dividida en tres categorías: *automóviles* (sedanes, hatchbacks, SUV, coupés, descapotables, y familiares), *vehículos livianos comerciales* (pick-ups, furgonetas, camionetas, etc.) y *vehículos pesados* (camiones, ómnibus, etc.). Para cada categoría se asumió un kilometraje de 20.000 y

35.000 km/año para automóviles y vehículos livianos comerciales respectivamente, tomados según datos utilizados por defecto en la página web de AFLEET (Argonne National Laboratory, 2025), y de 100.000 km/año para vehículos pesados (Pérez-Rangel et al., 2025). Para estimar las emisiones asociadas se utilizó un consumo promedio en cada categoría de: 8,3 L/100km, 10 L/100km y 20 L/100km (12, 10 y 5 km/L correspondientemente) para autos, livianos comerciales y pesados, respectivamente. Si bien estas cifras pueden variar significativamente según el tipo de vehículo, modelo, tecnología y condiciones de conducción, se adoptan como una aproximación válida y razonable para los fines del análisis.

- **Análisis Económico.** En este apartado se considera la proyección del costo de HVO para una planta piloto de 10.000.000 L/año, evaluando que en Argentina sería una decisión estratégicamente interesante, ya que este tamaño permite gestionar el riesgo inicial (costo y tecnología) mientras se exploran y aseguran los factores críticos del mercado local (MP y regulación), permitiendo probar la logística de recolección y pretratamiento de sebo animal, UCO y subproductos de la industria aceitera a la escala necesaria. Si la planta requiere 7.800 t de MP al año (con densidad 0,78 kg/L), esta escala es manejable para asegurar el suministro local.

RESULTADOS

A continuación, se analizan en detalle los principales factores que posicionan a Argentina como un país con alto potencial para el desarrollo de la producción de HVO, considerando tanto los aspectos técnicos como estructurales mencionados previamente.

Potencial suministro de materias primas lipídicas para la producción de HVO en Argentina

El HVO utiliza en gran medida la misma MP que el FAME, lo que significa que las cadenas de suministro para su producción son, en general, tan seguras como el mercado de biodiesel en general, ya que se cuenta con abundante oferta de materias primas (Epifanio y Ernst, 2019).

1. Aceite de Soja (y Subproductos)

Argentina se posiciona como uno de los principales productores y exportadores mundiales de aceite de soja. Aunque éste es un producto primario y no un "residuo", su vasta disponibilidad como coproducto de la molienda de la oleaginosa lo convierte en la MP con mayor volumen potencial para la industria de biocombustibles avanzados. Subproductos del procesamiento como aceites de descarte o de menor calidad de la refinación también constituyen fuentes lipídicas valiosas (Agrositio, 2025).

- **Ubicación Principal.** La producción se concentra predominantemente en la región de la Pampa Húmeda. Los mayores polos industriales de molienda se encuentran en las provincias de Santa Fe (especialmente en el cordón industrial del Gran Rosario), Córdoba y Buenos Aires.
- **Cantidades Estimadas.** La producción de aceite de soja en Argentina típicamente supera los 7 a 9 Mt/año, lo que representa una base material para la expansión de la capacidad de HVO, considerando su destino actual hacia exportaciones y consumo alimentario.

2. Grasas Animales (Sebo Vacuno y Porcino)

Las grasas animales, principalmente el sebo vacuno y porcino, son subproductos directos de la actividad frigorífica argentina. Estas grasas representan una MP de alto contenido energético y son altamente adecuadas para la producción de HVO debido a su composición de ácidos grasos. Su disponibilidad está ligada al volumen de faena del sector ganadero. (SAGyP, 2025).

- **Ubicación Principal.** La generación de grasas animales se concentra en las provincias con mayor actividad ganadera e industrial frigorífica. Se destacan Buenos Aires, Santa Fe y Córdoba. También existen volúmenes significativos en otras provincias ganaderas como La Pampa y Entre Ríos.
- **Cantidades Estimadas.** La producción anual de sebo crudo en Argentina ronda las 120.000 t dependiendo de las variaciones interanuales en la actividad de faena, y unas 60.000 t se destinan a exportación. Considerando los subproductos grasos y residuos bovinos, la cifra ronda 330.000 t/año. La producción de sebo (*tallow*) refinado se ubicó en 234.000 t, valores obtenidos el año 2020.

3. Aceite de Cocina Usado (*UCO - Used Cooking Oil*)

El *UCO* es un residuo valioso generado en hogares, el sector gastronómico (restaurantes, hoteles) e industrias alimentarias. Su utilización para la producción de HVO es particularmente atractiva desde una perspectiva de sostenibilidad ambiental, ya que transforma un desecho en un recurso. Sin embargo, su recolección y pretratamiento eficiente son desafíos logísticos clave (RAAVU, 2025).

- Ubicación Principal. Volúmenes significativos de *UCO* se generan en grandes centros urbanos como Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA), Gran Buenos Aires, Córdoba, Rosario (Santa Fe), Mendoza, y otras capitales provinciales son las fuentes más importantes debido a su alta densidad poblacional y concentración de establecimientos gastronómicos.
- Cantidades Estimadas. El potencial teórico de *UCO* en el país ronda en 200.000 t/año y se desechan estimativamente entre 64 y 91 millones de litros de aceite vegetal usado por año. No obstante, la cantidad efectivamente recolectada y disponible para la industria es una fracción de este potencial, sujeta a la infraestructura de recolección y reciclaje, que en términos concretos es difícil de estimar.

4. Cultivos no alimentarios

El desarrollo de biocombustibles de segunda y tercera generación en Argentina se beneficia del uso de cultivos no alimentarios que se adaptan a condiciones marginales, lo que evita competir con la producción de alimentos. Entre las especies prometedoras se encuentran *Camelina sativa*, *Brassica carinata*, *Jatropha curcas* y diversas microalgas. La *Camelina sativa* se adapta bien a suelos de baja fertilidad y climas templados/secos. Sus rendimientos de semilla equivalen a aproximadamente 1.000 litros de aceite por hectárea. La *Brassica carinata* es robusta, crece bien en invierno y tiene un potencial para expandirse en el sur de América. La *Jatropha curcas*, una alternativa interesante para el noroeste argentino en tierras no aptas para alimentos produce entre 540 y 680 litros de aceite por hectárea y sus subproductos son aprovechables energéticamente. Además, especies halófitas como la *Salicornia bigelovii* pueden crecer en suelos salinos del oeste y sur del país, lo que ayuda a recuperar ecosistemas degradados. Las microalgas, como *Chlorella vulgaris* o *Scenedesmus sp.*, son una fuente de lípidos muy prometedora, con rendimientos estimados superiores a 8.000 litros de biodiésel por hectárea al año, y se pueden cultivar en aguas residuales o salinas, lo que elimina la presión sobre las tierras agrícolas.

- Ubicación Principal. Estos cultivos se desarrollan en zonas actualmente subutilizadas como suelos de baja fertilidad, cuyo potencial de cultivo depende de la rentabilidad y las políticas de incentivo.
- Cantidades Estimadas. Es difícil estimar el potencial a cultivar, ya que este número depende de múltiples factores como la rentabilidad, condiciones del mercado y políticas de incentivo. El informe WISDOM Argentina (FAO, 2009) confirma la existencia de un gran potencial de recursos bioenergéticos en el país y proporciona el marco de análisis adecuado para abordar esta cuestión.

Análisis de Suministro: Capacidad de Producción

A diferencia del *FAME*, donde Argentina es un gran productor y exportador, la producción de HVO es incipiente y con proyectos en curso como es el caso de la empresa Santa Fe Bio (AdeC, 2025), que plantea una producción a escala comercial significativa. El país cuenta con condiciones estructurales facilitadoras de desarrollo, experiencia industrial, disponibilidad de materias primas y capacidad técnica. En ese contexto se destaca la presencia de refinerías de petróleo tradicionales y biorrefinerías, mayormente distribuidas en la zona central y norte del país (Figura 1 a y b).

- Refinerías de Petróleo Tradicionales. Grandes refinerías como YPF, Raízen/Shell y Axion/Pan American Energy tienen la infraestructura necesaria, específicamente unidades de hidrot ratamiento, que podrían ser adaptadas para co-procesar aceites vegetales y grasas. En la actualidad, varias de estas empresas están explorando o anunciando inversiones para la producción de este tipo de combustible. Es probable que el primer paso sea el co-procesamiento (mezclando aceites vegetales con crudo en las unidades existentes), para luego, potencialmente, construir plantas dedicadas.
- Biorrefinerías. La mayoría de las plantas existentes producen *FAME* (biodiésel de primera generación) y bioetanol. La infraestructura de éstas no está preparada para la obtención de HVO, y

su reconversión requiere gran una inversión, ya que son procesos de producción diferentes y tecnológicamente incompatibles. Los principales actores del sector de biodiésel (como Bunge, Cargill, AGD, Renova) tienen experiencia en el manejo de aceites vegetales y podrían ser futuros inversores, tal vez, a través de asociaciones estratégicas.

Consumo de Diésel y Potencial de Sustitución con HVO en Argentina

El consumo anual de gasoil y diésel oil en Argentina se mantiene en volúmenes significativos, destacando su importancia para diversos sectores económicos (Secretaría de Energía, 2024).

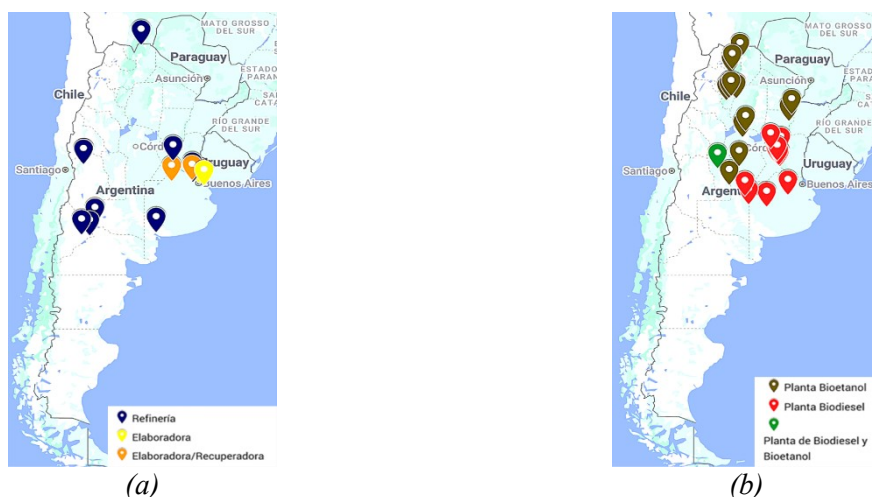


Figura 1: Ubicación de las refinerías: (a) Refinerías de petróleo tradicionales y (b) Biorrefinerías.

La distribución del consumo de diésel en 2023 fue la siguiente:

- El sector transporte terrestre representó 65.99% del consumo total (6.974 miles de TEP), abarcando flotas de carga, transporte de pasajeros y vehículos livianos diésel.
- El sector agropecuario fue el segundo consumidor, con 32% (3.382 miles de TEP), con uso intensivo en maquinaria agrícola y sistemas de bombeo, durante las campañas de siembra y cosecha.
- Los sectores industrial y comercial y público compartieron el remanente, cada uno con un 1% del consumo total (106 miles de TEP). Esto incluye desde generación eléctrica de respaldo y maquinaria pesada industrial hasta flotas de transporte público y equipos de obras civiles.

Balance Comercial de Diésel y Producción de Biodiésel (2023)

El análisis del balance comercial de diésel en Argentina para 2023 revela una situación estratégica. La producción de gasoil y diesel oil ascienden a 10.454 miles de TEP (equivalentes a 12.224,6 ML de gasoil), las importaciones totales ascendieron a 1.386 miles de TEP (equivalentes a 1.605 ML).

Paralelamente, las exportaciones y ventas de bunker (combustible para buques y aeronaves de tráfico internacional) registraron un valor de 199 miles de TEP (equivalentes a 230,4 ML). En cuanto a la producción de biodiésel (*FAME*), Argentina produjo un total de 831.269 t (equivalentes a 944,6 ML) durante 2023. De este volumen, 580.502 toneladas (659,6 millones de ML) fueron destinadas a las "ventas al corte", que representan el volumen obligatorio de biodiésel que debe mezclarse con el gasoil fósil para el mercado interno, según lo dispuesto por la Ley 27.640. Adicionalmente, se registraron 8.302 t (9,4 ML) en "otras ventas al mercado interno" (para usos específicos o consumo propio), y 284.600 t (323,4 ML) se destinaron a exportaciones de biodiésel.

Los datos de 2023 ponen de manifiesto una disyuntiva y una oportunidad estratégica. Por un lado, el país exhibe una significativa dependencia de las importaciones de DC, superando los ≈ 1.600 ML/año. Por otro lado, la producción total de *FAME* en el mismo período apenas superó los 944 ML, y de este volumen, más de 323 ML fueron exportados (Secretaría de Energía, 2025). Esta situación revela que:

1. Las exportaciones de *FAME*, aunque relevantes, no compensan el volumen de DC que Argentina debe importar. A pesar de la capacidad instalada y la abundancia de MP (aceite de soja), una parte considerable de la producción de biodiésel se destina a mercados externos, mientras que la demanda interna de DC aún requiere de volúmenes sustanciales de importación.
2. Existe una oportunidad estratégica para la sustitución de importaciones de diésel, ya que el volumen de diésel importado (aproximadamente 1.600 ML) es considerablemente mayor que el total de biodiésel producido y consumido internamente (ventas al corte + otras ventas \approx 669 ML), indicando un margen para que biocombustibles avanzados jueguen un rol crucial en la seguridad energética.

Emisiones de CO₂ en el Ciclo de Vida (ACV)

Existe un total circulante de 15.552.418 vehículos de los cuales 3.934.762 (25,3%) corresponden a la flota diésel. Según el último informe de AFAC, del total (nafteros, diésel, GNC, etc.) 3,10% corresponden a pesados, 14,70% a comerciales livianos y el 82,20% a automóviles. No existe información segmentada de vehículos diésel por categoría por lo que, para el cálculo, se estimó que 100% de los vehículos pesados (482.125), 75% de los comerciales livianos (1.714.655) y 13,6% de los automóviles (1.737.983) usan este tipo de combustible.

En la Figura 2 (a) se observa la reducción de emisiones de CO₂ por categoría según el combustible utilizado en un solo año, reemplazando el corte actual por la mezcla HVO7,5, los pesados reducen las emisiones un 6,35% (de 24,4 a 22,8 Mt de CO₂), los comerciales livianos 6,32% de (de 15,18 a 14,22 Mt de CO₂) y los automóviles un 6,28% (de 7,33 a 6,87 Mt de CO₂). Reemplazando el corte actual por la mezcla HVO100 la reducción es abrupta, los pesados reducen las emisiones un 75,90% (de 24,4 a 5,88 Mt de CO₂), los comerciales livianos 75,89 % de (de 15,18 a 3,66 Mt de CO₂) y los automóviles un 75,85% (de 7,33 a 1,77 Mt de CO₂).

En la Figura 2 (b) se observan las emisiones de todo el parque automotor diésel con los diferentes combustibles analizados a diferentes horizontes temporales, estimando además un crecimiento de la flota diésel al 1% anual (AFAC, 2025). El reemplazo del corte actual por HVO genera la siguiente reducción de emisiones de CO₂ medidas en Mt para 1, 5 y 10 años, respectivamente: HVO7,5 de: 46,91 a 43,94 – 246,5 a 230,91 – 518,15 a 485,38 y HVO100 de: 46,91 a 11,31 – 246,5 a 59,43 – 518,15 a 124,93. Claramente el HVO100 se posiciona como el combustible con mayor potencial de mitigación de la huella de carbono de la flota diésel.

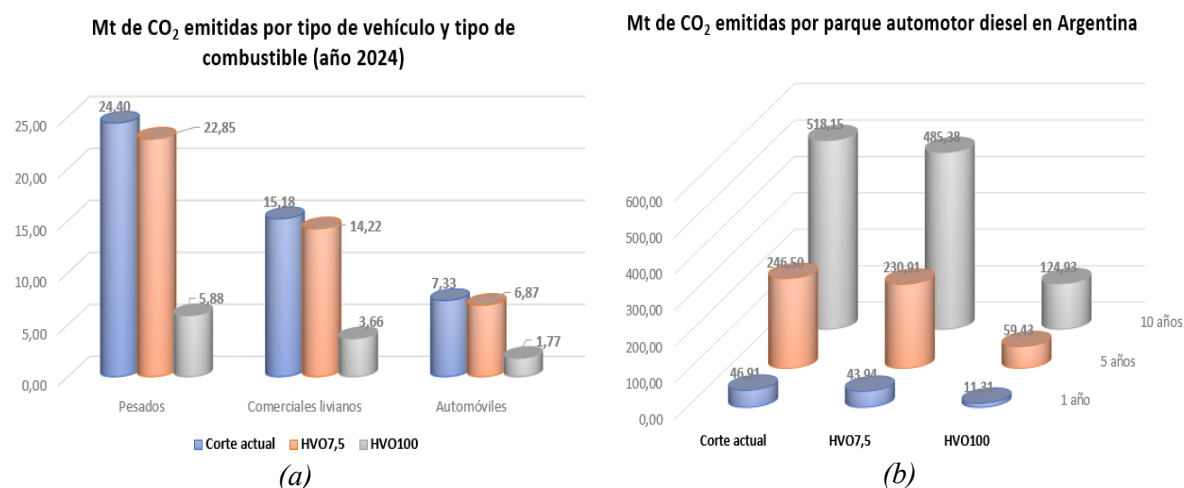


Figura 2: Comparación de emisiones de CO₂ en Mt por tipo de vehículo. Fuente: producción propia.

Viabilidad Económica

Para la proyección del costo de la planta piloto de HVO se usó como primera aproximación un modelo simple de costos nivelados (tipo LCOE aplicado a combustibles), transparente y reproducible en Excel, con limitaciones derivadas de no incluir inflación en USD, subsidios, impuestos específicos, ni posibles economías de escala (Concawe, 2022). Las entradas de modelo se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3: Valores de entrada del modelo de costos nivelados

Item	Valor
CAPEX total (USD)	50.000.000
Tasa de capital (%)	10
Vida útil (años)	25
Producción anual (L)	10.000.000
Precio MP (USD/L)	0,800
Consumo (L MP / L HVO)	1
H ₂ (kg H ₂ / L HVO)	0,015
Precio H ₂ (USD/kg)	3
OPEX anual (USD/año)	2.000.000
Créditos subproductos (USD/año)	0
Reducción anual compuesta (%) (aplicada a MP, H ₂ y OPEX)	0,030

Los valores quinquenales obtenidos entre 2025 y 2050 en USD/L para el HVO resultan: 1,69 – 1,56 – 1,43 – 1,30 – 1,17 – 1,04.

Paralelamente a los efectos de comparar la proyección de costos entre combustibles, se toma un precio base de DC de 1,09 USD/L para 2025 (Sec, 2025). Para 2030 se parte de 1,12 USD/L + impuesto al carbono creciente en 2,5 USD/t año hasta llegar a 100 USD/t (0,27 USD/L) en 2040 y 125 USD/t (0,34 USD/L) en 2050, lo que conduce a valores quinquenales entre 2025 y 2050 en USD/L para el DC de: 1,09 – 1,12 – 1,16 – 1,19 – 1,22 – 1,26. La Figura 3 muestra la comparación en la proyección de costos para HVO y DC.

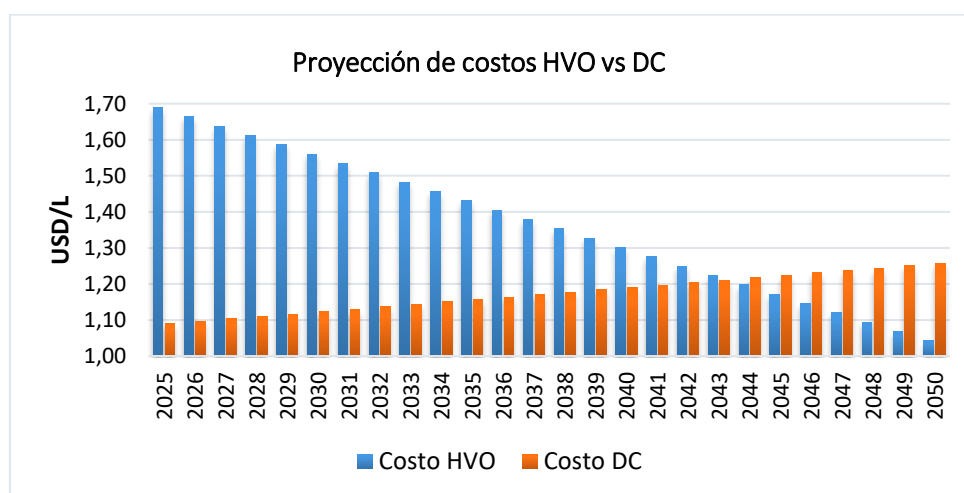


Figura 3: Escenario de proyección de costos para HVO vs DC. Fuente: producción propia

Se puede observar en la Figura 3, que bajo los supuestos mencionados los precios de los combustibles se cruzan en el año 2043 (punto de equilibrio o breakeven). Este es un escenario conservador que resalta que el HVO necesita apoyo de políticas (incentivos fiscales, créditos de carbono, subsidios de producción) para acortar esa brecha temporal. Es posible señalar las siguientes características del modelo de proyección de costos considerado:

1. Sensibilidad: si el impuesto al carbono crece más rápido; ej. 150 USD/t al 2040, como sugieren escenarios net-zero de la IEA (IEA, 2021), el punto de equilibrio se adelanta 5–10 años.
2. MP del HVO: la suba de precios de aceites o H₂ encarecen el HVO y el cruce se corre más adelante.
3. Coprocesamiento en refinerías: podría bajar el CAPEX/HVO y adelantar el punto de equilibrio.
4. Riesgo cambiario/inflación USD: se asumen precios constantes en USD (sin devaluaciones fuertes), que de ocurrir podría mover mucho el perfil de las curvas.

Desafíos y Oportunidades para Argentina

El diésel renovable emerge como una solución de alto valor estratégico, puede sustituir directamente las importaciones de diésel en cualquier proporción, sin requerir adaptaciones en motores o infraestructura. La experiencia de otros países, como Suecia, demuestra que, si bien las políticas gubernamentales pueden impulsar la adopción de este biocombustible, la sostenibilidad a largo plazo depende de la disponibilidad de materias primas verdaderamente sostenibles y de evitar impactos negativos por el cambio de uso del suelo (Soam y Hillman, 2019).

Argentina, cuenta con una vasta capacidad para producir grandes volúmenes de aceites vegetales y grasas animales, sumada a políticas estratégicas en cuanto a la recuperación de los *UCO* y valorización de cultivos no convencionales. La integración de la producción de HVO en las refinerías de petróleo existentes podría reducir los costos de inversión y acelerar el despliegue. El desarrollo de la cadena de valor del HVO en Argentina no solo impulsaría sectores como el agroindustrial y la recolección de residuos, generando empleo y estimulando la economía local (Pérez-Rangel et al., 2025), sino que también reduciría drásticamente la dependencia energética externa en lo que respecta al diésel, mejorando la balanza comercial y la resiliencia económica del país.

CONCLUSIONES

El HVO representa una prometedora alternativa renovable y directa al DC, con la capacidad de reducir significativamente las emisiones netas de CO₂ y otros contaminantes. Su adopción en la flota diésel argentina podría generar beneficios ambientales sustanciales para la descarbonización del sector transporte, particularmente en vehículos pesados.

Sin embargo, la viabilidad económica de esta transición en Argentina está intrínsecamente ligada al costo de producción del HVO y, por ende, a la disponibilidad y sostenibilidad de las materias primas. Las políticas de apoyo gubernamental y la inversión en I+D para optimizar los procesos de producción y diversificar las fuentes de MP sostenible son esenciales para superar los desafíos económicos y de suministro. Su integración en la matriz energética argentina, junto con una gestión cuidadosa de los impactos del ciclo de vida, contribuirá a un futuro más sostenible para el transporte y el medio ambiente.

FUENTES DE FINANCIAMIENTO

Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional de Córdoba – SECyT_UNC. Proyecto consolidar 2023 N° 33620230100934CB. “Simulación de sistemas híbridos de ERNC y cálculo del costo nivelado de exportación de moléculas PtX, desde países exportadores a países importadores”.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la SECyT_UNC por el financiamiento y a Calden Consultoría SRL por el aporte de datos y las discusiones ofrecidas sobre este trabajo.

NOMENCLATURA

ACV: Análisis del Ciclo de Vida	LUC: Cambio de Uso del Suelo (Land Use Change)
CI: Encendido por Compresión	NOx: Óxidos de Nitrógeno
CO ₂ : Dióxido de Carbono	PCI: Poder Calorífico Inferior
DC: Diésel Convencional	MP: Materia prima
DCO: Descarbonilación	PM: Materia Particulada
DCO ₂ : Descarboxilación	POME: Efluente de la Planta de Aceite de Palma (Palm Oil Mill Effluent)
DPF: Filtro de Partículas Diésel	SCR: Reducción Catalítica Selectiva
FAME: Éster Metílico de Ácido Graso	TEP: Tonelada Equivalente de Petróleo
GEI: Gases de Efecto Invernadero	UCO: Aceite de Cocina Usado (Used Cooking Oil)
UHC: Hidrocarburos No Quemados	ULSD: Diésel de ultra bajo contenido de azufre (Ultra-Low Sulfur Diesel)
HDO: Hidrodesoxigenación	WTW: De la Fuente a la Rueda (Well-to-Wheel)
HVO: Aceite Vegetal Hidrotratado	
LCA: Análisis de Ciclo de Vida (Life Cycle Analysis)	
LNT: Lean NOx Trap	

REFERENCIAS

- Adec (2025). Recuperado de <http://www.acopiadorescba.com/content/noticias-del-sector/otras/ypf-invertira-us-400-millones-en-santa-fe-para-producir-biocombustibles-de-aviacion> 29 sept. de 2025.
- Agrositio (2025). Producción de aceites vegetales en Argentina y Córdoba. En Agrositio. Recuperado de <https://www.agrositio.com.ar/noticia/239164-produccion-de-aceites-vegetales-en-argentina-y-cordoba.html> el 07 de agosto de 2025.
- Ajeeb A., Melo Gomes D., Costa Neto R., Baptista P. (2025). Life cycle analysis of hydrotreated vegetable oils production based on green hydrogen and used cooking oils. *Fuel*, 390, 134749. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2025.134749>.
- Argonne National Laboratory (2025). AFLEET Tool – Alternative Fuel Life-Cycle Environmental and Economic Transportation. En GREET Model - Argonne National Laboratory. Recuperado de <https://greet.es.anl.gov/afleet> el 7 de agosto de 2025.
- Asociación de Fábricas Argentinas de Componentes (AFAC). (2025). Flota Vehicular Circulante en Argentina 2024. En <https://www.afac.org.ar/>. Recuperado de <https://cdn.motor1.com/pdf-files/afac-flota-circulante-2024-copia3.pdf> el 8 de agosto de 2025.
- Ashraful A. M., Masjuki H. H., Kalam M. A., Fattah I. R., Imtenan S., Shahir S. A. y Mobarak, H. M. (2014). Production and comparison of fuel properties, engine performance, and emission characteristics of biodiesel from various non-edible vegetable oils: A review. *Energy conversion and management*, 80, 202-228. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S019689041400082X> el 15 de junio de 2025.
- Azeredo F., Hüther C., Werlang J. y Panizio R. (2025). HVO: A review on production, properties, environmental impact, and future perspectives. En *Insights into Energy Trends*, pp. 99–109. Springer Nature Switzerland, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-83811-8_10.
- Concawe (2025). Future diesel-like renewable fuels – a literature review. Anselmi P. et al. Recuperado de: https://www.concawe.eu/wp-content/uploads/Rpt-22-18.pdf?utm_source=chatgpt.com -1/10/25.
- Dimitriadis A., Natsios I., Dimaratos A., Katsaounis D., Samaras Z., Bezergianni S. y Lehto K. (2018). Evaluation of a hydrotreated vegetable oil (HVO) and effects on emissions of a passenger car diesel engine. *Frontiers in Mechanical Engineering*, 4, 7. <https://doi.org/10.3389/fmech.2018.00007>.
- Dobrzyńska E., Szewczyńska M., Pośniak M., Szczotka A., Puchałka B., y Woodburn J. (2020). Exhaust emissions from diesel engines fueled by different blends with the addition of nanomodifiers and hydrotreated vegetable oil HVO. *Environmental Pollution*, 259, 113772. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113772>
- Epifanio D. y Ernst C. (2020). La cadena de suministro de biodiésel en Argentina: ¿una oportunidad para el avance social? En Organización Internacional del Trabajo. Recuperado de https://www.ilo.org/sites/default/files/wcmsp5/groups/public/@americas/@ro-lima/@ilo-buenos_aires/documents/publication/wcms_734241.pdf el 07 de agosto de 2025.
- FAO – Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2009). Análisis del balance de energía derivada de biomasa en Argentina. WISDOM Argentina. Departamento Forestal, Servicios y Productos Forestales – Dendroenergía. Roma, Italia.
- Gomes D. M., Neto R. C., Baptista P., Ramos C. P., Correia C. B. y Rocha, R. (2025). A review of advanced techniques in hydrotreated vegetable oils production and life cycle analysis. *Biomass and Bioenergy*, 194, 107689. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2025.107689>.
- Hunicz J., Yang L., Rybak A., Ji S., Gęca M. S. y Mikulski M. (2025). Comparison of diesel and hydrotreated vegetable oil as the high-reactivity fuel in reactivity-controlled compression ignition. *Energy Conversion and Management*, 323, 119264. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2024.119264>
- IEA (2021). Net Zero by 2050 A Roadmap for the Global Energy Sector. Recuperado de: https://iea.blob.core.windows.net/assets/7ebafc81-74ed-412b-9c60-5cc32c8396e4/NetZeroBy2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector-SummaryforPolicyMakers_CORR.pdf, 02/10/25
- Martínez-Hernández E., Ramírez-Verduzco L. F., Amezcua-Allieri M. A. y Aburto J. (2019). Process simulation and techno-economic analysis of bio-jet fuel and green diesel production—Minimum selling prices. *Chemical Engineering Research and Design*, 146, 60-70. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2019.03.042>.

- Pérez-Rangel N. V., Ancheyta J., de Souza T. A. Z., da Costa R. B. R., Sousa D. J., Cardinali V. B. A. y Hernández J. J. (2025). HVO Adoption in Brazil: Challenges and Environmental Implications. *Sustainability*, 17(13), 6128. <https://doi.org/10.3390/su17136128>.
- RAAVU (2025). Sitio oficial de RAAVU. En RAAVU - Red Argentina de Análisis de Ciclo de Vida y Evaluación de la Sostenibilidad. Recuperado de <https://raavu.com.ar/> el 7 de agosto de 2025.
- Régimen de Corte Obligatorio Transitorio Adicional de Biodiésel. <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/decreto-330-2022-366627/texto> - 6/08/25.
- SAGyP (2025). Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. Recuperado el 7 de agosto de 2025. https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/bovinos/informacion_interes/informes/index.php
- Secretaría de Energía (2024). Balance Energético Nacional 2023. En la Secretaría de Energía de la Nación. Recuperado de <https://www.argentina.gob.ar/energia/balance-energetico-nacional> - 7/08/25.
- Secretaría de Energía (2025). Cifras de producción, ventas al mercado interno y exportaciones de biodiésel. En la Secretaría de Energía de la Nación. Recuperado de <https://www.argentina.gob.ar/energia> el 7 de agosto de 2025.
- Sec (2025). Secretaría de Energía. Precios de Biodiesel. Resuperado de https://glp.se.gob.ar/biocombustible/reporte_precios.php - 01/10/25.
- Soam S. y Hillman K. (2019). Factors influencing the environmental sustainability and growth of hydrotreated vegetable oil (HVO) in Sweden. *Bioresource Technology Reports*, 7, 100244. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2019.100244>
- Suarez-Bertoa R., Kousoulidou M., Clairotte M., Giechaskiel B., Nuottimäki J., Sarjovaara T. y Lonza L. (2019). Impact of HVO blends on modern diesel passenger cars emissions during real world operation. *Fuel*, 235, 1427-1435. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.08.031>.
- Szeto W. y Leung D. Y. C. (2022). Is hydrotreated vegetable oil a superior substitute for fossil diesel? A comprehensive review on physicochemical properties, engine performance and emissions. *Fuel* 327 (125065), 125065. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.125065>
- Vásquez M. C., Silva E. E., Castillo E. F. (2017). Hydrotreatment of vegetable oils: a review of the technologies and its developments for jet biofuel production, *Biomass Bioenergy* 105, 197–206. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2017.07.008>.

HVO AS A CLEAN FUEL IN ARGENTINA: IMPACT ANALYSIS AND KEY OBSTACLES

ABSTRACT: Hydrotreated Vegetable Oil is a renewable alternative to fossil diesel, key to the decarbonisation of transport. This paper evaluates the environmental potential of the adoption of this renewable diesel in Argentina, focusing on the reduction of carbon emissions in vehicles with compression ignition engines. The physicochemical properties of the fuel, its impact on engine emissions, economic viability and the challenges of a sustainable supply chain are analyzed. The carbon footprint calculations are based on Well-to-Wheel Life Cycle Analysis methodologies, resulting in a net reduction of 75% in carbon emissions for pure fuel, like that observed in international studies. On an economic level, the cost parity analysis shows that, when considering the carbon tax, the price of renewable diesel for a pilot plant would be equal to the price of fossil diesel (break-even) in the year 2043. Large-scale implementation will critically depend on the availability of sustainable feedstocks, such as soybean oil, animal fats and used cooking oil, and on policies that overcome the initial cost gap.

Keywords: HVO, renewable diesel, CO₂ emissions, defossilisation, decarbonization.