

Uso de Biogás Licuado en el transporte de larga distancia de la producción de la PyME agropecuaria argentina. Potencial de producción y un análisis de rentabilidad¹

Mariana Barreña² - Rosa Ana Catalano³ - Giuliano Paoloni⁴ - Juan Manuel Sierra⁵

Resumen

Año tras año Argentina importa una cuarta parte de los requerimientos domésticos de gasoil, combustible aplicado en un 75% al servicio de transporte; particularmente, en 2022 el sector agropecuario vio peligrar el procesamiento y distribución de su producción por los faltantes del combustible. Partiendo de la generación de biogás por el aprovechamiento de residuos agropecuarios, el sector, y en particular, la PyME agropecuaria, tienen la oportunidad de reemplazar por biogás licuado, el gasoil aplicado al transporte de larga distancia, reduciendo costos económicos y ambientales.

Se busca estimar el potencial de producción de biogás licuado de Argentina, partiendo de desechos agropecuarios. A continuación, se realiza el análisis de rentabilidad de la aplicación de Biogás Licuado al transporte de larga distancia para la distribución de la producción rural. La propuesta comprende la producción del biocombustible y la adaptación de la flota de gasoil a biogás licuado.

Palabras Claves

Biogás - Biogás licuado – Transporte de cargas – Desechos agropecuarios – Sostenibilidad

Abstract

The lack of gasoil in 2022 endangered the processing and commercialization of agricultural production, since Argentina imports a quarter of its domestic gasoil needs, 75% of which is used for transportation. The sector has the opportunity to replace gasoil used for long-distance transportation with liquefied biogas, obtained from agricultural waste, reducing both economic and environmental costs.

We estimate the potential of liquefied biogas production in Argentina, starting from agricultural waste. Then, we analyze the profitability of replacing gasoil with liquefied biogas for long-distance transportation for the distribution of rural products. Our analysis includes the production of biofuel and the adaptation of the diesel fleet to liquefied biogas.

Keywords

Biogas – Liquefied biogas – Freight transport - Agricultural waste - Sustainability

¹ El presente trabajo contribuye a una investigación desarrollada en el marco del proyecto denominado "Evaluación de Rentabilidad de las PyMEs Agropecuarias Argentinas", radicado en la Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad de Belgrano.

² Universidad de Belgrano, mariana.barrena@comunidad.ub.edu.ar

³ Universidad de Belgrano, rosa.catalano@comunidad.ub.edu.ar

⁴ Universidad de Belgrano, giuliano.paoloni@comunidad.ub.edu.ar

⁵ Universidad de Belgrano, juan.sierra@comunidad.ub.edu.ar

Barreña, Mariana [et al.]. Uso de Biogás Licuado en el transporte de larga distancia de la producción de la PyME agropecuaria argentina. Potencial de producción y un análisis de rentabilidad, 72-93.

Introducción

Contextualizados en la significativa disponibilidad de biomasa resultante de la producción agropecuaria argentina, que deriva en un enorme potencial de generación de biogás sólo por el aprovechamiento de sus residuos (Barreña & Knoll, 2022), y siguiendo la línea de investigación iniciada con el análisis de rentabilidad del aprovechamiento de desechos agropecuarios para la producción de biogás en pequeña y mediana escala (Barreña, Catalano, Caña, Paoloni, & Paoloni, 2022), estimamos el potencial de producción del país de biogás licuado, obtenido de desechos de agricultura y ganadería, y analizamos la viabilidad económica de purificar el biogás con destino a producir BGL para a sustituir el consumo de gasoil para el transporte de la producción agropecuaria de larga distancia, con el propósito de reducir importaciones del combustible fósil, contribuyendo a incrementar la sostenibilidad de la producción rural y el transporte, el nivel de empleo y la generación neta de divisas.

Con ese propósito elaboramos las siguientes propuestas:

Propuesta 1: generación de BioGNL a escala menor

Siendo un posible destino para el biogás generado a partir de residuos agropecuarios es la obtención de GNL, nuestra propuesta consiste en la construcción de 8 biodigestores medianos (4 instalaciones con 2 biodigestores cada una) para generar biogás y alimentar 1 equipo Cryobox-Bio con la Planta ZPTS de acondicionamiento, que enriquece el biocombustible transformándolo en biometano y lo licúa, obteniendo el GNL. La capacidad de producción proyectada puede alimentar 33 camiones diariamente, para un recorrido de 1.000km; nuestra propuesta involucra adquirir 30 unidades nuevas.

Propuesta 2: generación de BioGNL a escala mayor

Para un mejor aprovechamiento de la capacidad de producción del equipo Cryobox-Bio, que puede procesar hasta 1.500 Nm³/hora, generando 600 kg/hora de GNL, escalamos la propuesta a la construcción de 10 biodigestores medianos (5 instalaciones con 2 biodigestores cada una) para generar biogás y alimentar 1 equipo Cryobox-Bio con la Planta ZPTS de acondicionamiento, que enriquece el biocombustible transformándolo en biometano y lo licúa, obteniendo el GNL. La capacidad de producción proyectada puede alimentar 41 camiones diariamente, para un recorrido de 1.000km; nuestra propuesta involucra adquirir 40 unidades nuevas.

Marco teórico

El biogás, el biometano y el biogás licuado

El biogás se compone de entre un 40 y 70% de metano (CH₄) y entre un 30 a 40% de dióxido de carbono (CO₂); el resto es agua y otros compuestos, como hidrógeno, nitrógeno, oxígeno y sulfuro de hidrógeno (SH₂). Purificar el biogás y aumentar su concentración de metano Barreña, Mariana [et al.]. Uso de Biogás Licuado en el transporte de larga distancia de la producción de la PyME agropecuaria argentina. Potencial de producción y un análisis de rentabilidad, 72-93.

permite que el resultado sea similar en composición, características, posibilidades de uso y potencial energético que el gas natural, siendo conocido como biometano o biogás enriquecido (cuando la concentración de metano alcanza el 91 a 95%, en el orden de la concentración del gas natural), constituyéndose en una versión refinada y mejorada del biogás, en la que también se eliminó el CO₂ contenido.

A diferencia del combustible fósil, el biometano es renovable y su uso significa reducir significativamente las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), lo que es importante en el tránsito hacia la sustentabilidad. Los usos que pueden dársele son similares a los del gas natural, al volcarlo a la misma red que hace el suministro de los hogares e industrias, con destino a la generación de energía eléctrica o térmica y para movilidad no contaminante, en la propulsión de vehículos por medio de dos tipos de sistemas: Gas Natural Comprimido (GNC) o Biogás Comprimido (BGC o bioGNC), cuando se obtuvo de biomasa, en lugar del fósil, y Gas Natural Licuado (GNL) o Biogás Licuado (BGL o BioGNL).

El GNC es limpio (aun el de origen fósil, es el menos contaminante porque impulsa menos CO₂), renovable y económico; se almacena a grandes presiones, a temperatura ambiente.

El GNL es líquido criogénico (mantenido a -160°C), ecológico, renovable y sostenible, dado que cumple con las exigencias europeas en materia ambiental. Para mantenerlo en estado líquido debe ser almacenado y transportado en recipientes aislados. Pero tiene la ventaja de que su volumen es 3 veces menor que el del GNC (aumentando la autonomía del vehículo por la ventaja en el espacio de almacenamiento), a la vez de no ser tóxico ni corrosivo. Se compone de metano en un 95%, y el resto es propano, butano, nitrógeno y CO₂; es inodoro e incoloro. El GNL (fósil) permite una reducción de emisiones de CO₂ del 20% frente al gasoil; cuando se usa el BGL la baja puede llegar al 100% (Galileo Technologies, 2019).

Existen diferentes técnicas de purificación o limpieza, de *upgrading*, que consisten en separar el CO₂, en primer lugar, y luego, el resto de los compuestos minoritarios. Las opciones difieren según el destino que quiera dársele al biogás, como la absorción química, la criogenización o separación criogénica (utilizada para generar BGL), la adsorción por cambio de presión, la absorción por agua y la separación con membranas (Genia Bioenergy, 2022). El CO₂ generalmente es liberado a la atmósfera, pero puede aprovecharse con fines industriales, como químicos, medicamentos, para la refrigeración de equipos y en la producción de papel, para la producción de alimentos, como conservante, leudante y para carbonizar bebidas. En la agricultura, elevando la concentración de ese gas en invernaderos, lo que favorece los procesos de fotosíntesis y eleva su rendimiento, como fertilizante, en el cultivo de flores, verduras y plantas subacuáticas.

Respecto de las emisiones de metano, tienen un efecto potencial sobre el calentamiento global de 28 a 36 veces mayor al que aporta el CO₂, por lo que reducirlas complementa las estrategias para reducción del CO₂, permitiendo el cumplimiento del objetivo del Acuerdo de Barreña, Mariana [et al.]. Uso de Biogás Licuado en el transporte de larga distancia de la producción de la PyME agropecuaria argentina. Potencial de producción y un análisis de rentabilidad, 72-93.

París de limitar el aumento de la temperatura global a 1,5°C. La mayoría de emisiones de metano son causadas por la actividad humana, en tres sectores: combustibles fósiles (35%, representando el petróleo y gas 23pp y minería el resto), desechos orgánicos (20%) y agricultura (40%, donde sólo arroz genera 8pp) (United Nations Environment Programme and Climate and Clean Air Coalition, 2021)

La tecnología para el enriquecimiento del biogás y su licuefacción

Si bien hay diferentes opciones, más eficientes en cuanto a la calidad en la concentración de metano en el biogás, o más económicas, haciendo rentables propuestas de menor escala, elegimos cotizar la tecnología que desarrolló la compañía Galileo Technologies⁶, para capturar el gas de cualquier fuente y convertirlo a GNL (Galileo Technologies, 2022). La empresa de origen argentino, tiene una larga tradición en la instalación de equipos para utilizar GNC como combustible vehicular, iniciada por uno de sus fundadores, Fausto Maranca; en 1984 le presentó al presidente Alfonsín el primer vehículo impulsado por GNC y en 1987 fundó Galileo. Hoy tiene oficinas no sólo en Buenos Aires, también en Los Ángeles y Londres, y se ha asociado a Helmerich & Payne (H&P), proveedor estadounidense de soluciones de perforación terrestre, para aplicar la tecnología de licuefacción en Estados Unidos.

Para producir GNL y el BGL, indistintamente, Galileo Technologies cuenta con una estación que llaman Cryobox-Bio, que permite operar en pequeña escala, así como ampliar la escala con facilidad (sólo adicionando módulos). La estación permite aprovechar gas natural que no podía capturarse, como el que se libera en un *flaring*, o el de pozos remotos, no conectados a la res, pero igualmente puede conectarse al biodigestor para hacer el *upgrading*, obtener el biometano y luego, lo que Galileo llama el GNL *containerizado*, que es distribuido en cambiones, a través del Gasoducto Virtual, para ser suministrado en estaciones inteligentes, como Galileo Patagonia.

Figura 1. Estación Cryobox-Bio de Galileo Technologies



Fuente: extraído de Galileo Technologies (Galileo Technologies, 2022).

Con la estación Cryobox-Bio, Galileo integran las etapas de *upgrading*, *polishing* y licuefacción. La configuración es *plug-and-play*, por lo que sólo necesita para su instalación de una plataforma de concreto, para su asentamiento, conexión eléctrica y provisión de aire comprimido (Galileo Technologies, 2022). Entre el punto de extracción o generación del

⁶ Video corporativo de [Galileo Technologies](#) (2022).

Barreña, Mariana [et al.]. Uso de Biogás Licuado en el transporte de larga distancia de la producción de la PyME agropecuaria argentina. Potencial de producción y un análisis de rentabilidad, 72-93.

combustible y el ingreso a la estación Cryobox-Bio, todos los tipos de gas pasan por la Planta ZPTS, para su acondicionamiento.

Figura 2. Planta ZPTS de acondicionamiento de gas



Fuente: extraído de Galileo Technologies (Galileo Technologies, 2022).

En el *upgrading* se integran un tratamiento de absorción con aminas, un tratamiento de adsorción con carbón activado y un filtrado por membranas. Cuando la corriente de biogás crudo presenta un elevado contenido de SH₂, éste se elimina por medio del tratamiento de absorción con aminas. Luego, el tratamiento de adsorción con carbón activado permite remover restos de SH₂, siloxanos y componentes volátiles y olorosos. Finalmente, el filtrado por membranas permite separar el CH₄ del CO₂ y el agua, el nitrógeno gaseoso (N₂) y el oxígeno (O₂), obteniendo una corriente de biometano con una concentración del 99% (Galileo Technologies, 2022). La empresa explica las tres etapas del proceso de *upgrading* en los siguientes videos: [absorción con aminas](#), [adsorción con carbón activado](#) y [filtrado por membranas](#) (Galileo Technologies, 2022).

En el *polishing*, el CO₂ y vapor de agua (H₂O) que todavía no había sido eliminado en el *upgrading* es extraído, para que el biogás pueda licuarse. Este proceso se desarrolla en las torres de adsorción por tamiz molecular. Cuando el CO₂ y H₂O retenidos saturan la capacidad de adsorción de una torre, ésta sale de operación y se regenera automáticamente; mientras tanto, el proceso de *polishing* continúa en la torre siguiente. Este ciclo continuo pretende como resultado proveer una corriente de biometano de alto caudal y con una concentración del 99%. Finalmente, en la licuefacción se integran las etapas de compresión y enfriamiento, que llevan al biometano a condiciones en las que se puede reducir su presión y licuarse (Galileo Technologies, 2022). La empresa explica este proceso en el siguiente video: [polishing](#) (Galileo Technologies, 2022).

Como el proceso está integrado térmicamente, se reduce el consumo de energía y se pueden producir hasta 15 toneladas diarias de Bio-GNL. La operación está totalmente automatizada, contando con un monitoreo remoto 24x7, a través del Sistema SCADA que brinda la empresa como servicio. Adicionalmente, además del GNL, Cryobox-Bio también ofrece la posibilidad de producir GNC para vehículos livianos. Los plazos de instalación son notoriamente más cortos: 6 meses versus 24 a 36 meses de otros proveedores, en similar capacidad instalada⁷.

⁷ Ver la Ficha técnica de Cryobox-Bio en el Anexo 1.

Barreña, Mariana [et al.]. Uso de Biogás Licuado en el transporte de larga distancia de la producción de la PyME agropecuaria argentina. Potencial de producción y un análisis de rentabilidad, 72-93.

Galileo Technologies presenta una visita interactiva en su sitio web: [visita interactiva](#) (Galileo Technologies, 2022). En particular, cuando la estación Cryobox-Bio está conectada a un biodigestor⁸: [visita interactiva a partir de un biodigestor](#) (Galileo Technologies, 2022).

La carga es simple y rápida, no se requieren bombas para transferir el GNL en los tanques de almacenamiento; luego se distribuyen esos tanques con tráileres de distribución, para dar suministro a vehículos o equipos industriales. Le llaman Gasoducto Virtual al sistema de distribución por camiones; para su funcionamiento trabajan en el trazado de lo que llaman corredores azules, instalando estaciones inteligentes, como la Patagonia, en puntos neurálgicos del país, contando con que la autonomía de los camiones alimentados con GNL en la actualidad ronda entre los 1000 a 1700 km. El surtidor despacha 150 litros de GNL (equivalentes a 60 kg) por minuto, con lo que un camión podría hacer una carga completa en 5 a 6 minutos.

Estimamos que la inversión requerida instalar un equipo Cryobox-Bio con la Planta ZPTS de acondicionamiento del biogás anexa está en el orden de los U\$S6 millones, basándonos en antecedentes similares en equipo y escala (Galileo Technologies, 2014).

Figura 3. Carga y distribución. Gasoducto virtual y Estación Inteligente



Fuente: extraído de Galileo Technologies (Galileo Technologies, 2022).

Reconversión de la flota de camiones a GNL

Tener una flota de camiones alimentados a GNL tiene ventajas económicas y ambientales; desde el punto de vista económico, es significativa la reducción en el costo del combustible del orden del 50%, y también es ventajoso económicamente que los camiones alimentados con gas natural (fósil o renovable) no usen urea como aditivo, como los motores diésel, para adaptarse a los niveles de emisión Euro 5 y 6.

Desde la perspectiva ambiental, considerando que el transporte es el responsable del 25% de las emisiones del planeta, es relevante la baja de las emisiones de CO₂ alcanzada a partir de usar gas como combustible, en comparación con el gasoil, en el orden del 15-20%, pero mucho mayor si se usa biometano como materia prima del combustible, que se estima en el 90-95%. También desde la óptica del cuidado del medio ambiente, hay que destacar el funcionamiento silencioso de su motor, en comparación con el diésel, adaptándose a los requerimientos acústicos para entregas nocturnas.

⁸ Aunque en la visita interactiva brindada por Galileo Technologies con origen en un biodigestor no se representa la etapa de acondicionamiento del gas realizada en la Planta ZPTS, también es requerido este paso en el procedimiento. Barreña, Mariana [et al.]. Uso de Biogás Licuado en el transporte de larga distancia de la producción de la PyME agropecuaria argentina. Potencial de producción y un análisis de rentabilidad, 72-93.

Se abren dos posibilidades para convertir la flota de camiones de gasoil a GNL. Una es hacer la conversión de los vehículos existentes; en ese caso, la unidad va a poder utilizar alternativamente su combustible original (nafta o gasoil) o bien, GNL.

Este tipo de conversión no puede realizarse en Argentina actualmente, dado que la legislación vigente sólo habilita la fabricación nacional o la importación (Argentina.gob.ar, 2021). Distintas empresas realizan la conversión del vehículo para que sea propulsado a gas natural (Omnitek, 2022), (Gascomb, 2022); Omnitek puede efectuarla a un costo de U\$50.000 y en la región, la sucursal más cercana a Argentina está en Perú (Omnitek DNG Flyer, 2022). El equipo convertido cumple con la norma Euro 6 para las emisiones de CO₂.

La otra opción es adquirir unidades nuevas o usadas propulsadas a GNL. En Argentina las marcas con vehículos 0km disponibles son Scania e IVECO. El valor de un camión con motor de Ciclo Otto (encendido por chispa) alimentado a gas (fósil o renovable), ya sea GNL o GNC, indistintamente, se estima entre un 20% y un 50% por encima de características similares con motor Diésel alimentado a gasoil (Truckmagazine, 2020); (ACARA, 2022); (IVECO, 2022). En Argentina no se brindan cotizaciones para GNL, pero podemos considerar las cotizaciones a GNC, por tener un precio similar.

La inversión requerida para la adquisición de un camión 0km equipado con motor de Ciclo Otto adaptado para funcionar con GNL se estima en el orden de los U\$200.000 a 230.000 por unidad⁹. Los gastos de patentamiento oscilan entre un 6 y 8% del valor de la unidad.

La otra posibilidad es adquirir una unidad usada en el extranjero. Hay una amplia variedad de vehículos propulsados a GNL; realizamos una selección de modelos a partir 2020, de Scania, IVECO o Volvo, los que van desde los U\$60.000 a los 100.000, con origen en Francia y Holanda (Argentina-Camiones.com, 2022). Todos los vehículos seleccionados cumplen con las normas Euro 6¹⁰.

El ahorro ambiental del BGL: la reducción de las emisión de gases contaminantes

Los vehículos propulsados a gas natural tienen ese doble beneficio comparados con los propulsados a diésel o nafta, y es que no sólo es más económico el combustible utilizado sino que además, las emisiones de gases contaminantes (GEI y otros) es menor. Si, adicionalmente, el gas proviene de biogás, la reducción de las emisiones puede ser total.

El transporte vehicular es una de las actividades con mayor emisión de CO₂ y óxido nitroso (N₂O), dos de los principales GEI, junto al H₂O, el CH₄ y los gases fluorados, entre los más relevantes; asimismo, el transporte está entre los principales responsables de las emisiones de 2 de los 7 contaminantes atmosféricos más dañinos para la salud humana (excluyendo los GEI), que son el óxido de nitrógeno (NO_x) y el material particulado (PM) (Rial Axpe, 2020).

⁹ En el Anexo 1 se detallan modelos y precios del país.

¹⁰ Ver Anexo 1 para mayor detalle.

Barreña, Mariana [et al.]. Uso de Biogás Licuado en el transporte de larga distancia de la producción de la PyME agropecuaria argentina. Potencial de producción y un análisis de rentabilidad, 72-93.

Del análisis del impacto ambiental de las distintas tecnologías de vehículos pesados en su ciclo de vida resultaron ser las unidades propulsadas a GNL (producido a partir de gas natural) de alguna menor contribución en comparación con las de gasoil en la fase de uso del vehículo (que es la fase de mayor impacto en el ciclo de vida total y el GNL tiene un impacto en el orden del 10% menor al de las unidades diésel) y en el ciclo de vida completo (contribución 6% menor a la del gasolero), a pesar de ser de mayor impacto ambiental en las fases de producción del combustible (por las emisiones fugitivas de metano), de producción del vehículo, de su mantenimiento y de su final de vida (Rial Axpe, 2020).

Sin embargo, estos resultados cambian significativamente cuando el combustible utilizado proviene de biogás enriquecido, en lugar de gas fósil; si el biogás se obtiene a partir de residuos, la reducción en emisiones de GEI es mayor, sumado al hecho de que en muchos casos no tienen otro uso (Transport & Environment, 2018). Por ejemplo, la digestión anaeróbica sirve para tratar el estiércol, capturando las emisiones de metano y evitando su emisión a la atmósfera. En este tipo de casos, la reducción de emisiones se considera superior al 100%, ya que el metano es varias veces más contaminante que el CO₂.

Argentina hoy no cuenta con información detallada sobre el impacto ambiental del transporte de carga; en agosto de 2022 el INTA y Michelin Argentina, división Flotas Conectadas, firmaron un convenio de Cooperación Técnica para estudiar las emisiones de GEI en camiones y tractores, a través de un sistema de monitoreo (Argentina.gov.ar, 2022). Este estudio permitirá evaluar las emisiones reales y confeccionar una “Tabla Argentina” de acceso público. Como país participante del Acuerdo de París, hay un compromiso formal respecto del objetivo de alcanzar la neutralidad de carbono para 2050, por lo cual la información es fundamental en el diseño de un política ambiental de mitigación, que disminuya la huella de carbono, así como el consumo de combustible.

En Unión Europea se han reglamentado las emisiones de los vehículos, dada la preocupación por el crecimiento de las emisiones contaminantes y para evitar que difieran entre los Estados miembros, asegurando un elevado nivel de protección medioambiental. En 1992 entró en vigencia la Euro I, para vehículos pesados, y desde entonces han evolucionado hasta las actuales normas Euro V y VI, que se encuadran en el programa “Aire puro para Europa” (de 2001); su objetivo es reducir las emisiones de partículas, como los óxidos de nitrógeno, hidrocarburos (UE, Parlamento y Consejo 3602/2/07, 2007)¹¹.

Según el Reglamento del Parlamento Europeo y del Consejo para vehículos pesados (UE, Parlamento y Consejo 1242, 2019), el GNL es el combustible alternativo al diésel que permitirá cumplir los objetivos de reducción de emisiones de CO₂, ya que este tipo de tecnología produce menos emisiones de ese gas en comparación con los vehículos propulsados a gasoil.

¹¹ Ver los Límites de emisiones Euro VI en el Anexo 1.

Barreña, Mariana [et al.]. Uso de Biogás Licuado en el transporte de larga distancia de la producción de la PyME agropecuaria argentina. Potencial de producción y un análisis de rentabilidad, 72-93.

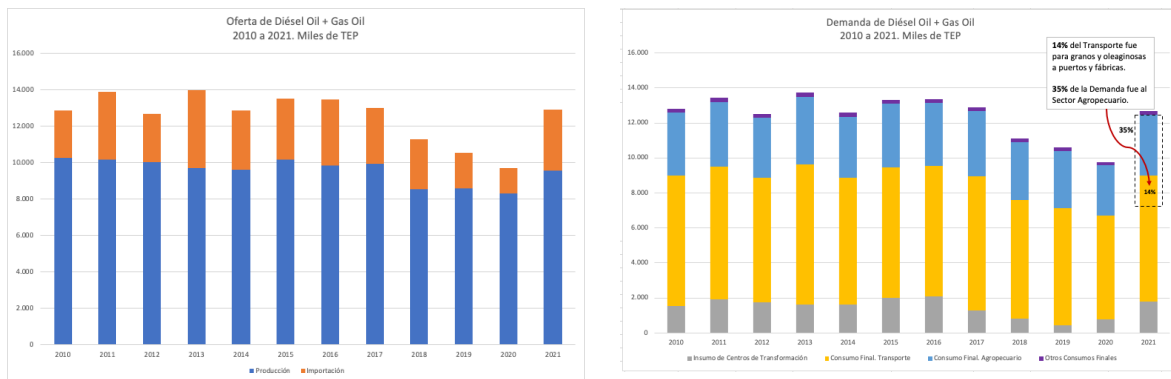
Asimismo, garantizan un nivel bajo de emisión de contaminantes atmosféricos, como óxido de nitrógeno y partículas.

Desarrollo

Oferta y demanda efectivas de Gas Oil. Oferta potencial de BGL

La oferta de gasoil en Argentina está conformada por la producción local e importación. Según el Balance Energético Nacional (BEN) publicado por la Secretaría de Energía (Secretaría de Energía, 2022). En 2021, la producción de la categoría Diésel Oil + Gas Oil ascendió a 9.557 miles de TEP¹² y las importaciones, a 3.372 miles de TEP, totalizando una oferta de 12.929 miles de TEP. Como promedio anual, entre 2010-2021 la producción se mantuvo en ese nivel, 9.555 miles de TEP, mientras que las importaciones fueron menores, 3.001 miles de TEP, con un nivel particularmente bajo en 2020, por la pandemia sanitaria de COVID-19. Cabe aclarar que las exportaciones del combustible no resultan significativas, por debajo del 2% de la producción (un promedio de 163 miles de TEP anuales).

Figura 4. Oferta y demanda argentinas de Diésel Oil+Gas Oil, miles de TEP



Fuente: elaboración propia a partir de BEN (Secretaría de Energía, 2022).

Por otra parte, la demanda efectiva, construida a partir del consumo de este combustible, se compone del consumo final y el consumo de los centros de transformación, donde es insumo para generación de energía; el consumo final tiene como destinatarios el transporte, el sector agropecuario (incluyendo transporte del centro de producción al acopio, estimado en 2km) y otros consumos finales. En 2021 ascendió a 12.697 miles de TEP, donde el transporte representa el 57%, 7.199 miles de TEP, y el sector agropecuario, el 27,5%, 3.491 miles de TEP (Secretaría de Energía, 2022). Como promedio anual, entre 2010 y 2021 el consumo total fue de 12.400 miles de TEP, destinados 7.215 al sector transporte y 3.498 al sector agropecuario, valores similares a los de 2021.

Para la campaña 2020/21 el consumo estimado de gasoil para el transporte de granos y oleaginosas desde el punto de acopio hasta puertos y fábricas, tanto por camión como por ferrocarril, fue de 1.130 millones de litros o 994,12 miles de TEP (D'Angelo & Terré, 11-06-

¹² Tonelada Equivalente de Petróleo.

Barreña, Mariana [et al.]. Uso de Biogás Licuado en el transporte de larga distancia de la producción de la PyME agropecuaria argentina. Potencial de producción y un análisis de rentabilidad, 72-93.

2021). Este requerimiento representa el 14% del Consumo Final del Transporte. Si al transporte de larga distancia para la distribución de la cosecha le añadimos la demanda del sector para la producción (que incluye el transporte de corta distancia, del punto de producción al acopio, estimado en un promedio de 2km), en 2021 representó 4.485 miles de TEP, es decir, un 35% de la demanda efectiva (todo el Consumo Final + insumos de los Centros de Transformación).

En los campos argentinos, encontramos abundante disponibilidad de biomasa; Barreña y Knoll estimaron que a partir del aprovechamiento de rastrojos de maíz, trigo y soja más las excretas de ganado porcino y bovino para tambo, hay un potencial de producción de biogás que puede equilibrar la Balanza Comercial energética, contribuyendo al autoabastecimiento de Argentina y liberando la aplicación de divisas (Barreña & Knoll, 2022). Con remoción del 50% de los rastrojos de los cultivos mencionados y la recolección de excretas de la ganadería referida el potencial de producción de biogás promedio de los años 2014-2020 ascendería a 60 millones m³ por día o 22 mil millones de m³ por año¹³.

Partiendo de la estimación referida de potencial de producción de biogás con aprovechamiento de residuos agropecuarios, calculamos el potencial de producción de GNL. Para una mejor comparación y análisis, convertimos la oferta local y demanda efectiva de Diésel Oil+Gas Oil de miles de TEP a toneladas de GNL. Nos encontramos con una producción argentina promedio 2010-2021 equivalente a 8,9 millones de toneladas de GNL e importaciones por 2,8 millones, ascendiendo a 11,7 millones de toneladas de GNL, que abastecen el mercado local. La demanda efectiva es de 11,5 millones de toneladas de GNL en promedio para el mismo período¹⁴. En consecuencia, la producción de aproximadamente 3 millones de toneladas de BGL permitiría reemplazar las importaciones de gasoil.

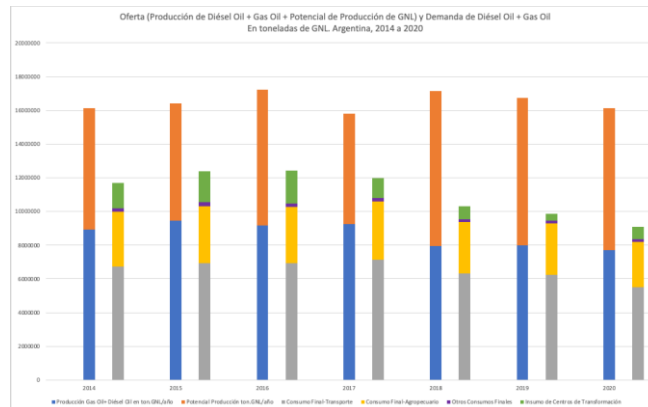
Operando con la Planta ZPTS y la estación de Cryobox-Bio estimamos que el biogás generado por el aprovechamiento del 50% de rastrojos de maíz, trigo y soja más las excretas de ganado porcino y bovino para tambo permite producir 7,9 millones de toneladas de BGL, promedio calculado a partir de estimaciones del período 2014-2020 de Barreña y Knoll (2022). Estos niveles de GNL triplican las importaciones anuales de gasoil (en toneladas de GNL).

¹³ Ver Anexo 1 para mayor detalle.

¹⁴ Ver gráfico en el Anexo 1.

Barreña, Mariana [et al.]. Uso de Biogás Licuado en el transporte de larga distancia de la producción de la PyME agropecuaria argentina. Potencial de producción y un análisis de rentabilidad, 72-93.

Figura 5. Oferta (incluye potencial estimado de GNL) y Demanda argentina de Diésel Oil+Gas Oil, toneladas de GNL

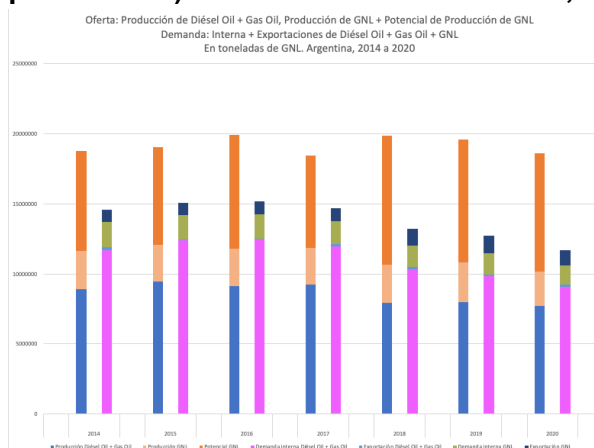


Fuente: elaboración y estimación propias a partir de BEN (Secretaría de Energía, 2022), de estimaciones de biogás de Barreña y Knoll (2022) y Ficha Técnica de estación Cryobox-Bio (Galileo Technologies, 2022).

Observamos que la biomasa de residuos disponible de sólo parte de la producción agropecuaria, tiene un potencial de generación de diferentes opciones energéticas que pueden constituirse en una solución para la autonomía y diversificación de la matriz argentina, liberando divisas por sustitución de importaciones, incrementando la participación de las renovables y con disminución de las emisiones de GEI, tanto por el uso de fuentes más limpias como por el tratamiento de residuos agropecuarios.

El potencial estimado de producción de GNL podría triplicar la producción promedio de este combustible en Argentina, observando que efectivizar ese potencial arrojaría un saldo exportable adicional de aproximadamente el 50% de la demanda total actual de gasoil y gas licuado (doméstica más extranjera). Podemos observarlo en la Figura 6.

Figura 6. Oferta (incluye potencial estimado de GNL) y Demanda argentinas (doméstica + exportaciones) de Diésel Oil+Gas Oil+GNL, toneladas de GNL



Referencias: demanda interna de Diésel Oil+Gas Oil: insumo de Centros de Transformación, Consumo Final-Agropecuario, Consumo Final-Transporte, Otros Consumos Finales. Demanda Interna de Gas Licuado: Consumo Final-Residencial, Consumo Final-Comercial y Público, Consumo Final-Agropecuario, Consumo Final-Industria.

Fuente: elaboración y estimación propias a partir de BEN (Secretaría de Energía, 2022), y de estimaciones de biogás de Barreña y Knoll (2022) y Ficha Técnica de estación Cryobox-Bio (Galileo Technologies, 2022).

Barreña, Mariana [et al.]. Uso de Biogás Licuado en el transporte de larga distancia de la producción de la PyME agropecuaria argentina. Potencial de producción y un análisis de rentabilidad, 72-93.

Como resultado, estimamos un potencial de producción de BGL a partir de desechos agrícolas de 7,9 millones de toneladas, lo que permitiría eliminar las importaciones de gasoil que en la última década equivalieron a 2,8 millones de toneladas de GNL, en promedio. Este potencial de producción podría casi duplicar la producción argentina de GNL promedio de esos años.

El ahorro económico: la reducción del costo en combustibles

Un camión propulsado a GNL requiere de 20 a 28 kg/100 km, dependiendo de la marca, el tipo de terreno recorrido, la velocidad y la carga que traccione. Los Volvo son los más económicos, al consumir entre 20 y 23 kg/100 km; le siguen los Scania, necesitando más de 23 a 25 kg/100 km; por último, en el caso de IVECO, el mismo modelo requiere entre casi 23 y 28 kg/100 km¹⁵.

Un camión de motor Diésel consume entre 30 y 40 litros de gasoil cada 100 km (Gesruta, 2022) y el 6% de ese consumo de combustible, en urea, lo que representa 2 litros de urea cada 100 km (Carlos Andretich, 2016). El ahorro en combustible alcanzado por un camión propulsado a GNL oscila entre el 34% en un recorrido de 500 km y el 41% en un recorrido de 1.100 km (Galileo Technologies-Yo cargo GNL, 2022)¹⁶; además, el requerimiento de urea de los gasoleros, en los vehículos propulsados a GNL se hace cero.

Para calcular el ahorro de combustible se estimó la cantidad de gasoil y urea utilizada diariamente por los camiones con Motor Diésel para recorridos de 1.000 km, se valorizó ese costo, estimándose el ahorro en la reducción del 40% del consumo de gasoil y del 100%, de urea. El precio del combustible se calculó a partir del promedio del precio del Gasoil Grado 3 informado para todo el país y todas las marcas por la Secretaría de Energía, ascendiendo a \$217,28 al 9 de octubre de 2022 (Argentina.gov.ar, 2022). Para la urea líquida se consideró el precio de Urea Líquida Automotriz Redoxblue por 1.000 litros (sin envase), siendo de \$142,05 por litro al 11 de octubre de 2022 (Mercado Libre, 2022). Los resultados obtenidos se informan en la Figura 7; el ahorro asciende a U\$S196 diarios, U\$S4.323 mensuales y U\$51.872 anuales, por unidad móvil.

Figura 7. Consumo, costos y ahorro estimados por vehículo. En litros y dólares

Periodos - Recorrido de 1.000 km diarios	Consumo gasoil mínimo (30 litros/100km) Litros	Costo gasoil mínimo Dólares	Consumo gasoil máximo (40 litros/100 km) Litros	Costo gasoil máximo Dólares	Costo gasoil promedio Dólares	Costo estimado del combustible del camión propulsado a GNL Dólares	Ahorro estimado de combustible por GNL Dólares
Diario	300	383	400	511	447	268	179
Mensual (22 días)	6.600	8.436	8.800	11.247	9.842	5.905	3.937
Anual (12 meses)	79.200	101.227	105.600	134.969	118.098	70.859	47.239

Periodos - Recorrido de 1.000 km diarios	Consumo urea mínimo Litros	Costo urea mínimo Dólares	Consumo urea máximo Litros	Costo urea máximo Dólares	Costo urea promedio Dólares	Ahorro (40% gasoil + 100% urea) Dólares
Diario	18	15	24	20	18	196
Mensual (22 días)	396	331	528	441	386	4.323
Anual (12 meses)	4.752	3.971	6.336	5.294	4.633	51.872

Fuente: elaboración propia. Tipo de cambio: \$170 por U\$S, cotización valorada al 18-1-2022 (BCRA, 2022).

Estimamos que un camión propulsado a GNL ahorra U\$S196 diarios, U\$S4.323 mensuales y U\$S51.872 anuales debido al cambio de combustible y el no requerimiento de urea, cuando es utilizado en recorridos de 1.000 km diarios durante 22 días al mes.

¹⁵ Ver Anexo 1 para mayor detalle de modelo y consumo.

¹⁶ Ver Anexo 1 para detalle de ahorro.

Propuesta 1:

En esta propuesta, la cotización de los biodigestores fue escalada en cuatro veces la cotización realizada en una primera etapa de investigación de una instalación compuesta por dos biodigestores domo, que fue cotizada en U\$S2.116.760 (Barreña, Catalano, Caña, Paoloni, & Paoloni, 2022). Cada instalación (compuesta de dos biodigestores domo) produce 6.368 m³/día o 265,33 m³/hora, lo que equivale a 240 Nm³/hora¹⁷. En consecuencia, la capacidad de producción de las 4 instalaciones (con 8 biodigestores) generan 960 Nm³/hora de biogás. El equipo Cryobox-Bio alimentado con este caudal puede generar 384 kg/hora de GNL, 9.216 kg/día o 9,2 ton/día, alcanzando una producción de 3.364 ton/año de GNL.

Consideraremos que un camión propulsado a GNL utiliza 28 kg/día cada 100 km de recorrido, siendo el requerimiento más elevado entre registros relevados. Así, la capacidad de producción proyectada puede alimentar 33 camiones diariamente, para un recorrido de 1.000 km. Nuestra propuesta será la de adquirir 30 unidades nuevas; las cotizaremos al precio promedio de U\$S215.000 más el costo de patentamiento estimado en el 8%, lo que totaliza los U\$S232.200 por unidad 0Km, estimándose una inversión total de U\$S7 millones.

La inversión requerida es:

- 8 biodigestores: U\$S8,5 millones.
- 1 Cryobox-Bio con la Planta ZPTS, de Galileo Technologies: U\$S6 millones.
- 30 camiones: U\$S7 millones.
- Total: U\$S21,5 millones.

En la Figura 8 se presenta el flujo de fondos estimado para Biogás, GNL y conversión de la flota de transporte de carga a vehículos a propulsión a GNL, con vida útil estimada en 30 años. La estimación correspondiente al valor del GNL fue obtenida a partir de valorizar las cantidades producidas al precio pagado por el GNL importado por Argentina en el período abril-septiembre de 2022, de 28,9U\$S/MMBtu (Secretaría de Energía, 2022). Ese valor no fue considerado en el análisis de rentabilidad. Por el contrario, se tomó como ingreso por la venta del biogás licuado el gasto de los transportistas en combustibles, estimado en 60% del costo del gasoil) y como ingreso de la flota de transporte a larga distancia el ahorro estimado por el cambio de gasoil a GNL, es decir, el 40% del costo del gasoil y 100% de la urea).

Para operar el biodigestor se requieren de 3 peones rurales en forma permanente (3 turnos de trabajo diario, todo el año) y 200 horas profesionales mensuales. La generación de GNL es monitoreada por el servicio SCADA brindado por Galileo Technologies, cuyo costo anual se estimó en el 1,5% de la inversión en el equipo Cryobox-Bio. En cuanto a los costos operativos anuales, se estimaron en el 3% de la inversión de cada proyecto, esto es, los

¹⁷ La estimación de 240 Nm³/hora surgió del promedio obtenido de convertir los m³ a m³ normalizados en diferentes condiciones; a saber: 1) temperatura 25°, presión 1 y humedad 40% 265,33 m³/hora equivalen a 236,9 Nm³/hora. 2) temperatura 20°, presión 1 y humedad 40% 265,33 m³/hora equivalen a 242,0 Nm³/hora (ID TURBO, 2022). Barreña, Mariana [et al.]. Uso de Biogás Licuado en el transporte de larga distancia de la producción de la PyME agropecuaria argentina. Potencial de producción y un análisis de rentabilidad, 72-93.

biogestores y los compresores de gas a GNL. En el caso de la flota de camiones de carga, se estimó el ahorro por el cambio de combustible, considerando el menor requerimiento de GNL respecto de gasoil y el no uso de urea. No se incluyen costos laborales ni operativos específicos, por suponerse indiferentes del combustible utilizado; sólo se imputaron el ahorro por el uso de GNL y los servicios financieros. En cuanto a las condiciones del financiamiento, se supuso un préstamo a 15 años de plazo, con 3 de gracia, lo que significa que la primera devolución del principal se efectúa en el año 5. La tasa nominal anual se estimó en el 7,25%¹⁸. Del análisis de rentabilidad surge que el Valor Actual Neto (VAN) es de U\$S23.888.918 a 30 años, con una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 6%. El saldo anual es negativo sólo en el año 1 y el tiempo de recupero fue estimado en el año 26.

Figura 8. Análisis de rentabilidad de la Propuesta

Años	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Ingresos															
Valor del GNL	2.394.302.737,00	4.788.605.475,80	4.788.605.475,80	4.788.605.475,80	4.788.605.475,80	4.788.605.475,80	4.788.605.475,80	4.788.605.475,80	4.788.605.475,80	4.788.605.475,80	4.788.605.475,80	4.788.605.475,80	4.788.605.475,80	4.788.605.475,80	4.788.605.475,80
Egresos por Biogás															
Costos operativos	-127.005,60	-254.011,20	-254.011,20	-254.011,20	-254.011,20	-254.011,20	-254.011,20	-254.011,20	-254.011,20	-254.011,20	-254.011,20	-254.011,20	-254.011,20	-254.011,20	-254.011,20
Costos mano de obra	-375.331,53	-750.663,06	-750.663,06	-750.663,06	-750.663,06	-750.663,06	-750.663,06	-750.663,06	-750.663,06	-750.663,06	-750.663,06	-750.663,06	-750.663,06	-750.663,06	-750.663,06
Servicios Financieros	-613.860,40	-613.860,40	-613.860,40	-613.860,40	-613.860,40	-613.860,40	-613.860,40	-613.860,40	-613.860,40	-613.860,40	-613.860,40	-613.860,40	-613.860,40	-613.860,40	-613.860,40
Total Egresos Biogás	-1.116.197,53	-1.618.534,66	-1.618.534,66	-1.618.534,66	-1.618.534,66	-1.618.534,66	-1.618.534,66	-1.618.534,66	-1.618.534,66	-1.618.534,66	-1.618.534,66	-1.618.534,66	-1.618.534,66	-1.618.534,66	-1.618.534,66
Préstamo Biogás	8.467.040,00														
Ingresos por GNL	1.062.885,00	2.125.770,00	2.125.770,00	2.125.770,00	2.125.770,00	2.125.770,00	2.125.770,00	2.125.770,00	2.125.770,00	2.125.770,00	2.125.770,00	2.125.770,00	2.125.770,00	2.125.770,00	2.125.770,00
Egresos por GNL															
Costos operativos	-90.000,00	-180.000,00	-180.000,00	-180.000,00	-180.000,00	-180.000,00	-180.000,00	-180.000,00	-180.000,00	-180.000,00	-180.000,00	-180.000,00	-180.000,00	-180.000,00	-180.000,00
Costos SCADA	-45.000,00	-90.000,00	-90.000,00	-90.000,00	-90.000,00	-90.000,00	-90.000,00	-90.000,00	-90.000,00	-90.000,00	-90.000,00	-90.000,00	-90.000,00	-90.000,00	-90.000,00
Servicios Financieros	-435.000,00	-435.000,00	-435.000,00	-435.000,00	-435.000,00	-435.000,00	-435.000,00	-435.000,00	-435.000,00	-435.000,00	-435.000,00	-435.000,00	-435.000,00	-435.000,00	-435.000,00
Total Egresos GNL	-570.000,00	-705.000,00	-705.000,00	-705.000,00	-705.000,00	-705.000,00	-705.000,00	-705.000,00	-705.000,00	-705.000,00	-705.000,00	-705.000,00	-705.000,00	-705.000,00	-705.000,00
Préstamo GNL	6.000.000,00														
Egresos por Camiones - Combustible GNL	-1.062.885,00	-2.125.770,00	-2.125.770,00	-2.125.770,00	-2.125.770,00	-2.125.770,00	-2.125.770,00	-2.125.770,00	-2.125.770,00	-2.125.770,00	-2.125.770,00	-2.125.770,00	-2.125.770,00	-2.125.770,00	-2.125.770,00
Ingresos por NO uso - Gasoil + Urea	1.846.955,00	3.681.930,00	3.681.930,00	3.681.930,00	3.681.930,00	3.681.930,00	3.681.930,00	3.681.930,00	3.681.930,00	3.681.930,00	3.681.930,00	3.681.930,00	3.681.930,00	3.681.930,00	3.681.930,00
Ahorro en reducción de combustible + urea	778.880,00	1.556.160,00	1.556.160,00	1.556.160,00	1.556.160,00	1.556.160,00	1.556.160,00	1.556.160,00	1.556.160,00	1.556.160,00	1.556.160,00	1.556.160,00	1.556.160,00	1.556.160,00	1.556.160,00
Servicios Financieros	-507.500,00	-507.500,00	-507.500,00	-507.500,00	-507.500,00	-507.500,00	-507.500,00	-507.500,00	-507.500,00	-507.500,00	-507.500,00	-507.500,00	-507.500,00	-507.500,00	-507.500,00
Egresos Camiones	-1.570.385,00	-2.633.270,00	-2.633.270,00	-2.633.270,00	-2.633.270,00	-2.633.270,00	-2.633.270,00	-2.633.270,00	-2.633.270,00	-2.633.270,00	-2.633.270,00	-2.633.270,00	-2.633.270,00	-2.633.270,00	-2.633.270,00
Préstamo Flota de 30 camiones	7.000.000,00														
Subtotal: ingresos - egresos	-352.733,53	850.895,34	850.895,34	850.895,34	850.895,34	850.895,34	850.895,34	850.895,34	850.895,34	850.895,34	850.895,34	850.895,34	850.895,34	850.895,34	850.895,34
Inversión Inicial	-21.467.040,00														
Devolución Préstamos	-1.431.136,00	-1.431.136,00	-1.431.136,00	-1.431.136,00	-1.431.136,00	-1.431.136,00	-1.431.136,00	-1.431.136,00	-1.431.136,00	-1.431.136,00	-1.431.136,00	-1.431.136,00	-1.431.136,00	-1.431.136,00	-1.431.136,00
Flujo de fondos acumulado	-352.733,53	498.162,81	1.349.058,16	2.199.953,50	2.999.953,50	3.799.953,50	4.599.953,50	5.399.953,50	6.199.953,50	6.999.953,50	7.799.953,50	8.599.953,50	9.399.953,50	10.199.953,50	10.999.953,50

Fuente: elaboración propia.

Propuesta 2:

Como resultado de escalar cinco veces la instalación cotizada en una etapa anterior (Barreña, Catalano, Caña, Paoloni, & Paoloni, 2022), es una capacidad de producción de 1.200 Nm³/hora de biogás. Este caudal le permite generar al equipo Cryobox-Bio 480 kg/hora de GNL, 11.520 kg/día o 11,5 ton/día, alcanzando una producción de 4.205 ton/año de GNL, que puede alimentar 41 camiones diariamente, para un recorrido de 1.000 km. Proponemos la

¹⁸ Corresponde a la tasa obtenida por Pan American Energy por la emisión de Obligaciones Negociables en julio de 2022 (Pan American Energy, 2022).

mitigación de las emisiones de CH₄ y CO₂. En Argentina, adicionalmente, se presenta como una estrategia atractiva para contribuir a la diversificación de la matriz energética, ampliar la capacidad instalada y ahorrar divisas por sustitución de importaciones, aumentar el agregado de valor y empleo en el ámbito rural, contribuyendo al crecimiento y desarrollo sostenible. En este sentido, Argentina ya se ha comprometido internacionalmente con la Agenda 2030 de las Naciones Unidas, para contribuir a dar solución al problema del cambio climático.

En 2021 se redujo el corte obligatorio de gasoil o diésel-oil con biocombustibles al 5% (con posibilidad de disminuirlo hasta el 3% por razones económicas), en detrimento del cumplimiento de los compromisos internacionales del país en materia ambiental; a mediados de 2022 se revirtió la medida, resultando en un corte total para el gasoil del 12,5%, contribuyendo a aumentar el abastecimiento de gasoil (Secretaría de Energía, 2022); (Poder Ejecutivo Nacional, 2022). En este sentido, el tipo de proyecto propuesto contribuye a acercarse al cumplimiento de las metas acordadas.

El conflicto entre Rusia y Ucrania, iniciado en febrero de 2022, elevó a niveles récord los precios de la energía y fertilizantes, realzando el valor de la propuesta.

En el caso de la generación de BGL a partir de escalar el biogás obtenido con desechos agropecuarios, para sustituir gasoil en el transporte de carga de cereales y ganado, a larga distancia, se construyó el flujo financiero y se realizó el cálculo de rentabilidad en dos escalas (Propuestas 1 y 2) resultando viables ambos proyectos, con un tiempo de recupero de la inversión de 26 años en la escala menor y de 22 años en la mayor.

Concluimos entonces que la posibilidad de hacer más sustentable la distribución de la producción agropecuaria contribuiría no sólo a solucionar el problema recurrente de faltante de gasoil para el procesamiento de las cosechas y su traslado, sino también a la mitigación de los efectos del cambio climático y el cumplimiento de los compromisos internacionales ya asumidos por el país.

Trabajos citados

ACARA (7 de octubre de 2022). *Guía Oficial de Precios/Camiones*. Obtenido de acara.org.ar:

<https://www.acara.org.ar/guia-oficial-de-precios.php?tipo=CAMIONES>

Argentina-Camiones.com (5 de octubre de 2022). *Argentina-Camiones.com*. Obtenido de

[Argentina-Camiones.com: https://www.argentina-camiones.com/](https://www.argentina-camiones.com/)

Argentina.gob.ar (11 de octubre de 2022). *Precios en surtidor*. Obtenido de Argentina.gob.ar:

<https://www.argentina.gob.ar/aplicaciones/precios-en-surtidor>

Argentina.gob.ar (12 de noviembre de 2021). *Argentina.gob.ar*. Obtenido de Ente Nacional

Regulador del Gas Resolución 432/2021:

<https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/resoluci%C3%B3n-432-2021->

[356702/texto](https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/resoluci%C3%B3n-432-2021-356702/texto)

Barreña, Mariana [et al.]. Uso de Biogás Licuado en el transporte de larga distancia de la producción de la PyME agropecuaria argentina. Potencial de producción y un análisis de rentabilidad, 72-93.

- Argentina.gob.ar (24 de agosto de 2022). *Evaluarán las emisiones de gases en el transporte de carga*. Obtenido de Argentina.gob.ar: <https://www.argentina.gob.ar/noticias/evaluaran-las-emisiones-de-gases-en-el-transporte-de-carga>
- Barreña, M., & Knoll, P. (2022). Transformación de desechos en energía. ¿Cuánto hacemos y cuánto se puede lograr? *VII Congreso Latinoamericano de Historia Económica (CLADHE)*. Lima, 2-4 marzo 2022. Lima.
- Barreña, M., Catalano, R., Caña, M., Paoloni, F., & Paoloni, G. (2022). Análisis de rentabilidad de la producción de biogás a partir de desechos agrícolas por cooperativas de Pequeñas y Medianas Empresas agropecuarias. *1º Foro de Investigadores de FCE-UB*. CABA.
- BCRA (1 de diciembre de 2022). *Principales Variables*. Obtenido de www.bcra.gob.ar: https://www.bcra.gob.ar/PublicacionesEstadisticas/Principales_variables.asp
- Carlos Andretich (30 de septiembre de 2016). *Solución de urea, la tecnología SCR*. Obtenido de <https://carlosandretich.com/>: <https://carlosandretich.com/solucion-de-urea-y-la-tecnologia-scr/>
- CCA (5 de octubre de 2022). *Precios Camiones octubre 2022*. Obtenido de cca.org.ar: <https://cca.org.ar/>
- D'Angelo, G., & Terré, E. (11-06-2021). *Consumo de gasoil en las cadenas de granos en la 2020/2021: 2.050 millones de litros. Informativo Semanal. Año XXXIX. Nº Edición 2005*. Rosario: Bolsa de Comercio de Rosario.
- Frey, R. (5 de octubre de 2022). *Gama de camiones Scania con Gas Natural Comprimido GNC GNV en octubre 2022*. Obtenido de glpautogas.info: <https://www.glpautogas.info/es/gama-camiones-scania-gas-natural-comprimido-gnc-gnv.html>
- Galileo Technologies-Yo cargo GNL (30 de agosto de 2022). *Yo cargo GNL Galileo*. Obtenido de <https://yocargognl.com/>: <https://yocargognl.com/>
- Galileo Technologies (22 de julio de 2022). *Galileo Technologies*. Obtenido de Galileo Technologies: <https://www.galileoar.com/>
- Galileo Technologies (8 de agosto de 2014). *La presidente argentina inauguró la planta equipada con los Crybox que proveen GNL a Buquebus*. Obtenido de galileoar.com: <https://www.galileoar.com/la-presidente-argentina-inauguro-la-planta-equipada-con-los-cryobox-que-proveen-gnl-a-buquebus/>
- Galileo Technologies (26 de diciembre de 2019). *Gas versus diésel: transporte más sustentable*. Obtenido de galileoar.com: <https://www.galileoar.com/gas-versus-diesel-transporte-mas-sustentable/>

Barreña, Mariana [et al.]. Uso de Biogás Licuado en el transporte de larga distancia de la producción de la PyME agropecuaria argentina. Potencial de producción y un análisis de rentabilidad, 72-93.

- Gascomb (5 de octubre de 2022). *Gascomb*. Obtenido de Gascomb: https://www.gascomb.com/cap_home.html
- Genia Bioenergy (23 de agosto de 2022). *Genia Bioenergy*. Obtenido de geniabioenergy.com: https://geniabioenergy.com/wp-content/uploads/2021/09/2021-folleto-upgrading_genia-global-energy.pdf
- Gesruta (17 de mayo de 2022). *Cuánto consume un camión y cómo mejorar su rendimiento*. Obtenido de <https://programadetransporte.es/>: <https://programadetransporte.es/cuanto-consume-un-camion/>
- ID TURBO (15 de octubre de 2022). *ID TURBO*. Obtenido de ihidalgakiran.com: <https://ihidalgakiran.com/es/convertidor-de-unidades/capacidad/nm3-hr-to-actual-m3-hr/>
- IVECO (22 de septiembre de 2022). *Red Comercial IVECO*. Obtenido de iveco.com: https://www.iveco.com/argentina/red/pages/red_de_venta.aspx
- López Calvo, L. (11 de abril de 2022). El precio de los fertilizantes en máximos históricos: qué significa para la economía. *Cronista*, págs. <https://www.cronista.com/economia-politica/el-precio-de-los-fertilizantes-en-maximos-historicos-que-significa-para-la-economia/>
- Mercado Libre (11 de octubre de 2022). *Urea líquida Automotriz Redoxblue x 1000 litros - Sin envase*. Obtenido de articulo.mercadolibre.com.ar/: https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-812123899-urea-liquida-automotriz-redoxblue-x-1000-litros-sin-envase-_JM#position=7&search_layout=stack&type=item&tracking_id=130126bf-8bce-4530-91e4-2445c1aa991e
- Omnitek DNG Flyer (17 de noviembre de 2022). *Omnitek DNG Flyer*. Obtenido de Diesel-to-Natural Gas Engine Conversions: <https://www.omnitekcorp.com/images/Omnitek%20DNG%20Flyer.pdf>
- Omnitek (17 de noviembre de 2022). *www.omnitekcorp.com*. Obtenido de Omnitek: www.omnitekcorp.com
- Pan American Energy (29 de junio de 2022). *Suplemento del Prospecto y Canje Pan American Energy*. Obtenido de [https://www.pan-energy.com/Obligaciones Negociables/](https://www.pan-energy.com/Obligaciones%20Negociables/): https://www.pan-energy.com/Obligaciones%20Negociables/PAE_Suplemento%20de%20Prospecto%20y%20Canje_27_29-06-2022.pdf
- Poder Ejecutivo Nacional (16 de junio de 2022). *Decreto 330/2022*. Obtenido de Argentina.gob.ar: <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/decreto-330-2022-366627/texto>

Barreña, Mariana [et al.]. Uso de Biogás Licuado en el transporte de larga distancia de la producción de la PyME agropecuaria argentina. Potencial de producción y un análisis de rentabilidad, 72-93.

Rial Axpe, M. (febrero de 2020). Comparación del impacto ambiental asociado a distintas tecnologías de vehículos pesados empleando la metodología de Análisis de Ciclo de Vida. Madrid, España: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales Universidad Politécnica de Madrid.

Secretaría de Energía (14 de junio de 2022). *Resolución 438/2022*. Obtenido de Argentina.gob.ar:

<https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/resoluci%C3%B3n-438-2022-366630/texto>

Secretaría de Energía (20 de agosto de 2022). *Balance Energético Nacional*. Obtenido de argentina.gob.ar:

<https://www.argentina.gob.ar/economia/energia/hidrocarburos/balances-energeticos>

Secretaría de Energía (agosto de 2022). *Implementación Decreto PEN N°322/22. Régimen de segmentación de subsidios de energía*. Obtenido de argentina.gob.ar:

<https://econojournal.com.ar/cntnt/uploads/2022/08/SECRETARIA-DE-ENERGIA-Segmentacio-Agosto.pdf>

Transport & Environment (octubre de 2018). *GNC y GNL para vehículos y buques: los hechos*. Bruselas: Transport & Environment.

Truckmagazine (8 de agosto de 2020). *Scania: "Con el gas se ahorra 50% en combustible"*.

Obtenido de truckmagazine.com.ar: <https://www.truckmagazine.com.ar/scania-con-el-gas-se-ahorra-50-en-combustible/>

UE, Parlamento y Consejo 1242 (20 de junio de 2019). *Reglamento (UE) 2019/1242*. Obtenido de Reglamento UE 2019 vehículos pesados:

<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2019-81211>

UE, Parlamento y Consejo 3602/2/07 (22 de mayo de 2007). *reglamento del Parlamento Europeo y del Consejo*. Obtenido de Resolución Euro 5 y 6:

<https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-3602-2007-REV-2/es/pdf>

UE, Parlamento y Consejo 595/2009 (18 de junio de 2009). *Reglamento (CE) N° 595/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo*. Obtenido de www.boe.es:

<https://www.boe.es/doue/2009/188/L00001-00013.pdf>

United Nations Environment Programme and Climate and Clean Air Coalition (2021). *Global Methane Assessment: Benefits and Costs of Mitigating Methane Emissions*. Nairobi: United Nations Environment Programme.

Anexo 1

Barreña, Mariana [et al.]. Uso de Biogás Licuado en el transporte de larga distancia de la producción de la PyME agropecuaria argentina. Potencial de producción y un análisis de rentabilidad, 72-93.

1. Ficha técnica de la estación Cryobox-Bio (Galileo Technologies, 2022).

Caudal de Bio-GNL / Bio-GNV (kg/h)	600	Usuarios	Establecimientos agropecuarios
Composición del Bio-GNL / Bio-GNV	+99% CH ₄		Plantas de tratamiento de residuos y potabilizadoras
Presión de descarga (barg)	3		Plantas industriales
Presión de succión (barg)	0,8-1		Plantas de generación eléctrica
Caudal de entrada de biogás (Nm ³ /h)	1500		Estaciones públicas y privadas de carga de combustible
Dimensiones (m ²)	256		Estaciones madre de sistemas de Gaseoducto Virtual *
Fuentes de biogás	Silos de granos		Gaseoductos convencionales
	Especies cultivables y no comestibles	Operación	Sistema integrado de upgrading, polishing y licuefacción.
	Estiércol y guano de animales estabulados o en feedlot		Cumplimiento de las normas internacionales
	Lodos cloacales		Bajo mantenimiento
	Efluentes y residuos provenientes de las industrias cervecera, láctea, alimenticia y de frigoríficos		Bajo costo operativo

Referencia: los parámetros

contenidos en la ficha tienen una tolerancia del ± 10%.

2. Los precios de los modelos de Scania informados por ACARA (2022):

Scania G410 A: 4x2Diésel U\$S144.600; 4x2GNC U\$S195.100; 6x2Diésel U\$S169.700; 6x2GNC U\$S207.800.

Scania R410 A: 4x2Diésel U\$S157.400; 4x2GNC U\$S203.100; 6x2Diésel U\$S171.700; 6x2GNC U\$S218.400.

Los precios de los modelos de Scania informados por la Cámara del Comercio Automotor (CCA, 2022):

Scania R410 A: 4x2Diésel U\$S171.600; 4x2GNC U\$S213.800; 6x2Diésel U\$S187.100; Bi-Tren 6x2GNC U\$S229.800.

La cotización en concesionarios oficiales de IVECO (2022) es:

IVECO Tector 280 CV Diésel U\$S129.600; GNC U\$S199.000.

3. Selección de vehículos usados a la venta en el extranjero (Argentina-Camiones.com, 2022):

-Scania R410 4x2 GNV (año 2020, Francia) €85.000 sin IVA. Información [aquí](#).

-Scania G410 4x2 GNV (año 2020, Holanda) €59.900 sin IVA. Información [aquí](#).

-IVECO Stralis 460 6x2 GNL (año 2020, Francia) €49.000 sin IVA. Información [aquí](#).

-IVECO S-Way 460 4x2 GNV (año 2020, Holanda) €62.950 sin IVA. Información [aquí](#).

-Volvo FH 460 6x2 GNV (año 2021, Holanda) €99.900 sin IVA. Información [aquí](#).

-Volvo FH 460 6x2 GNV (año 2020, Holanda) €99.900 sin IVA. Información [aquí](#).

-Volvo FH 460 4x2 GNV (año 2020, Holanda) €92.400 sin IVA. Información [aquí](#).

4. Límites de emisiones Euro VI establecidos en el Reglamento del Parlamento y del Consejo de la Unión Europea (UE, Parlamento y Consejo 595/2009 , 2009, pág. 10).

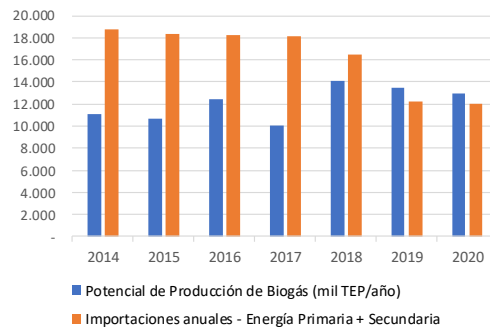
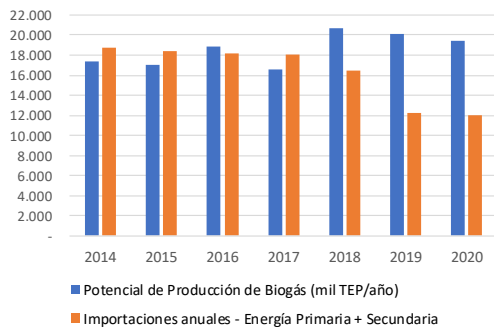
Ciclo	Valores límite							Número de partículas (en la materia particulada) (¹)
	CO (mg/kWh)	HCT (mg/kWh)	HCNM (mg/kWh)	CH ₄ (mg/kWh)	NO _x (¹) (mg/kWh)	NH ₃ (ppm)	Masa de materia particulada (mg/kWh)	
Ciclo ESC (Eco)	1500	130			400	10	10	
Ciclo ETC (Eco)	4000	160			400	10	10	
Ciclo ETC (Ech)	4000		160	500	400	10	10	
Ciclo WHSC (¹)								
Ciclo WHTC (¹)								

Referencias: Ech = Encendido por chispa. Eco = Encendido por compresión. (1) El nivel admisible del componente NO₂ en el valor límite de los NO_x podrá definirse posteriormente. (2) Más adelante se establecerá una norma relativa al número de partículas y a más tardar el 1 de abril de 2010. (3) Los valores límite relativos al ciclo mundial estacionario (WHSC) y al ciclo mundial transitorio (WHTC), que reemplacen a los valores límite relativos a los ESC y los ETC, se introducirán más adelante, una vez se hayan establecido los factores de correlación con los ciclos de pruebas actuales (los ciclos europeos transitorio [ETC] y estacionario [ESC] y a más tardar el 1 de abril de 2010.

Barreña, Mariana [et al.]. Uso de Biogás Licuado en el transporte de larga distancia de la producción de la PyME agropecuaria argentina. Potencial de producción y un análisis de rentabilidad, 72-93.

Stralis NP 460: 27,78 kg/100 km (Transporter3.com, 2019).

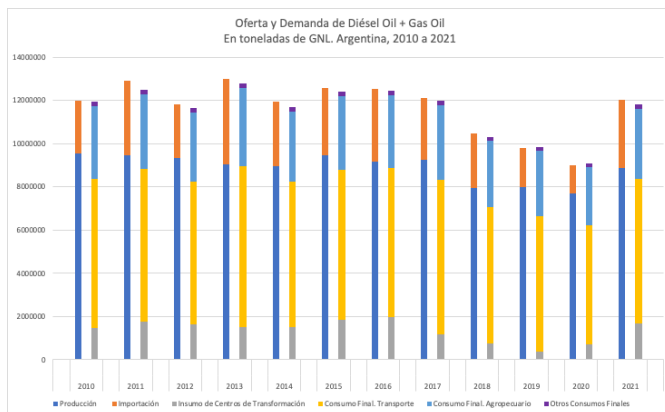
5. Potencial de producción anual de Biogás a partir de residuos agropecuarios e Importaciones de Energía de Argentina, en miles de TEP/año. Remoción de residuos de la cosecha al 50%



y
Bovinos

(izquierda) o Bovinos-Tambo (derecha), promedio 2014 a 2020 (Barreña & Knoll, 2022, pág. 26).

6. Oferta y Demanda argentinas de Diésel Oil+Gas Oil, toneladas de GNL. Elaboración propia a partir de BEN (Secretaría de Energía, 2022).



7. Consumo de GNL por marca de camión:

Volvo FH 460 Globetrotter: 20,1 kg/100 km (Encamión.com, 2019); Volvo FH 460 CV: 22,58 kg/100 km (Transporte3.com, 2019); Scania G410: 23,7 kg/100 km (Scania, 2019); Scania G410: 24,9 kg/100 km (Scania, 2019); IVECO Stralis NP 460: 22,6 kg/100 km (Martín, 2018); IVECO

Barreña, Mariana [et al.]. Uso de Biogás Licuado en el transporte de larga distancia de la producción de la PyME agropecuaria argentina. Potencial de producción y un análisis de rentabilidad, 72-93.

8. Ahorro en combustible entre vehículos propulsados a gasoil y a GNL, calculado con el simulador Yo cargo GNL de Galileo Technologies (2022). La simulación fue realizada para un recorrido de 1.000 km diarios, trabajando 22 días mensuales, obteniendo el siguiente resultado:

