

POTENCIAL DE PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO A PARTIR DE BIOGÁS PARA GESTIÓN DE RESIDUOS Y EMISIONES EN LA INDUSTRIA GANADERA ARGENTINA

Mariela Colombo¹, Ramiro Rodriguez^{1,2}, Ernesto Coutsiers^{1,3}

¹Calden Consultoría SRL – Av. Pedro Mariani 478, Villa Allende (5105), Córdoba

www.caldenconsultoria.com Tel. +549223-620271, email: mcolombo@caldenconsultoria.com

²Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba - Av. Vélez Sarsfield 299 (5000), Córdoba www.fcefyn.unc.edu.ar +543515353800, ramiro.rodriguez@unc.edu.ar

³Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de Salta - Av. Bolivia 5150 (4408), Salta
www.exactas.unsa.edu.ar +543874255408, ecoutsiers@exa.unsa.edu.ar

RESUMEN: Este artículo explora el potencial de producción de hidrógeno a partir de biogás generado por residuos ganaderos en Argentina, con un enfoque particular en las provincias de Buenos Aires, Córdoba y Santa Fe, donde la actividad ganadera es más intensa. Se analiza cómo los sistemas de *feedlots*, al concentrar grandes cantidades de animales en espacios reducidos, generan un volumen significativo de residuos orgánicos que, a través de biodigestores, pueden ser transformados en biogás. El biogás, compuesto principalmente de metano y dióxido de carbono, puede ser convertido en hidrógeno mediante tecnologías de reformado como el *Dry Reforming*, lo que no solo mejora la eficiencia energética del proceso, sino que también reduce las emisiones de gases de efecto invernadero. Este enfoque ofrece una doble ventaja: gestionar de manera sostenible los residuos ganaderos y contribuir a la descarbonización del sector energético. Los resultados de este estudio sugieren que la producción de hidrógeno a partir de biogás no solo es técnicamente viable, sino que también tiene un gran potencial para apoyar la transición energética en Argentina, particularmente en las regiones con una fuerte presencia de la industria ganadera.

Palabras clave: Biogás, Hidrógeno verde, Gestión de residuos ganaderos, Huella de carbono.

INTRODUCCIÓN

La producción de hidrógeno a partir de fuentes renovables ha surgido como una alternativa prometedora a los combustibles fósiles, debido a las crecientes preocupaciones ambientales relacionadas con el cambio climático y la necesidad de diversificar las fuentes de energía. Aunque la producción de hidrógeno mediante electrólisis y energías renovables ha ganado popularidad tanto en el entorno académico como en el mercado, este estudio se centra en el uso del biogás, producido a partir de residuos orgánicos, como una materia prima viable y sostenible para la producción de hidrógeno de bajas emisiones.

Argentina cuenta con un vasto sector ganadero; de hecho, a fines del 2022 había más ganado bovino (54.2 millones de cabezas, Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación, 2023) que habitantes en la nación (45.9 millones, Censo 2022). El sector ganadero es un pilar fundamental en la economía del país y en la vida cotidiana de la población, siendo Argentina uno de los países con mayor consumo de carne per cápita (BCR, 2023). En las últimas décadas, Argentina ha visto un notable crecimiento en la implementación de sistemas de engorde a corral, o *feedlots*, como método para la finalización del ganado bovino, especialmente en la región sudeste de la Provincia de Buenos Aires. Este modelo intensivo ha permitido aumentar la eficiencia en la producción de carne, optimizando el uso de la tierra y mejorando los tiempos de engorde del ganado. Pero este crecimiento también ha traído preocupaciones significativas en términos ambientales. Los *feedlots* concentran grandes cantidades de animales en áreas reducidas, lo que genera altas concentraciones de excrementos, tanto sólidos como

líquidos. Esto ha resultado en un desbalance en el ciclo de nutrientes del suelo y ha aumentado la posibilidad de contaminación de las aguas subterráneas y superficiales, debido a la liberación de nitrógeno, fósforo, metales pesados y otros contaminantes. A pesar de que existen regulaciones y metodologías para mitigar estos impactos, la gestión adecuada de estos residuos sigue siendo un desafío crítico para minimizar los riesgos de contaminación y preservar los recursos hídricos en la región (García et al., 2015; Alsina, del Carmen Muñoz, 2023; Glessi et al., 2012).

La gestión y valorización de los residuos orgánicos generados por los animales es esencial para reducir la huella de carbono de la industria ganadera y mitigar los efectos del cambio climático. El estiércol de ganado, en particular, es una fuente abundante y subutilizada de biomasa que puede ser transformada en biogás mediante digestión anaeróbica. El biogás se compone principalmente de metano (CH_4 : 60-70%vol) y dióxido de carbono (CO_2 : 30-40%vol), junto con pequeñas cantidades de otros componentes como sulfuro de hidrógeno (H_2S), amoníaco (NH_3) y agua (H_2O) (Pham Minh et al., 2018).

El biogás, aunque valioso como combustible renovable para la generación de energía térmica y eléctrica, también puede ser reformado para producir hidrógeno verde o renovable. Diversos estudios han demostrado que la producción de hidrógeno a partir de biogás es técnicamente factible y puede optimizarse mediante tecnologías de reforma como la reforma con vapor, la reforma autotérmica y la reforma seca o *Dry Reforming*, entre otras (Hajizadeh et al., 2022; Pham Minh et al., 2018; Kumar et al., 2022). Esta última tecnología, en particular, permite no sólo convertir el biogás en hidrógeno, sino también capturar y reutilizar el dióxido de carbono generado en el proceso, contribuyendo así a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

Este estudio analiza el potencial de producción de hidrógeno a partir de biogás generado por residuos ganaderos de *feedlots* en Argentina. Además, explora los beneficios ambientales y las oportunidades de desarrollo económico que esta iniciativa podría ofrecer.

Los resultados de este estudio podrían proporcionar una evaluación inicial para el análisis de tecnologías de producción de hidrógeno a partir de biogás en países con sectores ganaderos robustos como Argentina, ofreciendo una solución sostenible para la generación de energía y la gestión de residuos.

MÉTODOS

Potencial de producción de biogás

En 2012 se creó el Proyecto para la promoción de la energía derivada de biomasa – UTF/ARG/020/ARG (PROBIOMASA), iniciativa llevada adelante por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca y el Ministerio de Desarrollo Productivo, con asistencia técnica y administrativa de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Este proyecto ha generado una gran cantidad de información valiosa como la cuantificación de la biomasa disponible para la generación de energía utilizando la metodología WISDOM, desarrollada por la FAO. La última actualización de dicha cuantificación, realizada inicialmente en 2009, se realizó en el 2020 incluyendo el potencial de energía a partir de fuentes de biomasa húmeda proveniente de actividades ganaderas intensivas, como *feedlots*. El potencial de producción de biogás, por provincia, para *feedlots* según la actualización del 2020 se presenta en la Tabla 1 (FAO, 2020). Como se puede observar, las provincias de Buenos Aires, Córdoba y Santa Fe lideran el listado, cubriendo el 76% del potencial total del país.

Tabla 1: Potencial de producción de biogás por provincia de Argentina para feedlots, ordenados de mayor a menor. Fuente: FAO, 2020.

Provincia	Potencial producción biogás Feedlots [x1000 m ³ /año]
Buenos Aires	119.320,0
Córdoba	68.781,8
Santa Fe	66.216,4
Entre Ríos	15.743,6
Salta	14.656,4
Santiago del Estero	13.167,3
San Luis	7.589,1
Tucumán	5.369,1
La Pampa	4.490,9
La Rioja	4.116,4
Misiones	3.630,9
Río Negro	2.118,2
Mendoza	1.920,0
Chaco	1.778,2
Chubut	1.678,2
Catamarca	1.074,5
Jujuy	1.000,0
Neuquén	914,5
Santa Cruz	770,9
Corrientes	423,6
San Juan	394,5
Tierra del Fuego	154,5
Formosa	0,0
Total	335.309,1

Definitivamente el potencial de producción de biogás en la región central de Argentina es elevado. Considerando sólo *feedlots*, 335,3 millones de m³ de biogás por año representarían entre 577 y 738 GWh/año (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura Buenos Aires, Argentina, 2019), equivalente al consumo eléctrico anual de aproximadamente 200.000 usuarios de Argentina, si se considera un consumo promedio por usuario de 3.4 MWh/año (GFA Consulting Group, 2021).

En el 2021 SENASA caracterizó la distribución y la composición de los establecimientos de engorde a corral, e identificó que el 59,53% de los establecimientos son pequeños, con menos de 1.000 bovinos (SENASA, 2021). A partir de este relevamiento, se puede obtener que el tamaño promedio de los establecimientos es de 400 cabezas aproximadamente. Considerando una producción anual de estiércol fresco de 8708 kg por animal y una producción de biogás de 0,0315 m³ por kg de estiércol fresco (PROBIOMASA, 2021), este tipo de establecimientos podría producir 109.721 m³ biogás al año, como se describe en la Tabla 2:

Tabla 2: Potencial de producción de biogás establecimientos pequeños de feedlots. Fuente: Elaboración propia.

Parámetro	Valor	Unidad
Cantidad de animales	400	-
Producción de estiércol fresco total	3.483.200	kg estiércol/año
Producción de biogás total	109.720,8	m ³ biogás/año

A partir de las estimaciones de potencial de biogás, se analizó el potencial de producción de hidrógeno, y el impacto en la huella de carbono que el proceso tendría en los establecimientos de *feedlot*.

Producción de hidrógeno a partir de biogás

La producción de biogás a partir de residuos ganaderos, como el estiércol de los animales, se lleva a cabo en un biodigestor. Este equipo es un sistema cerrado y hermético diseñado para la degradación de materia orgánica por microorganismos como bacterias y hongos, en un ambiente sin oxígeno (anaeróbico). Además de la producción de biogás, el biodigestor produce un lodo acuoso, rico en nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio, que se puede emplear como fertilizante orgánico (García Páez).

Aunque el biogás es un combustible renovable, su uso convencional en la generación de calor, electricidad y/o vapor genera emisiones de CO_2 . Además, la presencia de CO_2 en el biogás reduce su poder calorífico, lo que disminuye la eficiencia energética de los métodos tradicionales de aprovechamiento del biogás. La conversión del biogás en productos limpios y de alto valor, como el hidrógeno, aumenta la eficiencia de los sistemas y reduce o elimina las emisiones de gases de efectos invernadero (Hajizadeh et al., 2022).

En este estudio se evalúa el potencial de producción de hidrógeno renovable a partir de la combinación de la producción de biogás a través de digestión anaeróbica, con un proceso de reformado del gas para producción de hidrógeno, capturando la mayor cantidad de emisiones posible. Existen distintas tecnologías de *reforming* disponibles, como *Steam Reforming (SR)*, *Partial Oxidation Reforming (POR)*, *Auto-thermal Reforming (ATR)*, *Dry Reforming (DR)* y *Dry Oxidation Reforming (DOR)*. En general, todos estos métodos tienen en común que se parte de un hidrocarburo, que puede ser gas natural (CH_4), biogás u otro, y se produce una reacción en presencia de un catalizador produciendo H_2 y CO/CO_2 . Sin embargo, el DR es el método más adecuado para su aplicación directa con biogás, ya que no se requiere de una separación del CO_2 antes de la reacción y permite recircular el CO_2 generado, reduciendo las emisiones (Kumar et al., 2022).

En la Figura 1 se presenta un esquema simplificado de la producción de hidrógeno a partir de biogás, utilizando DR. Una de las principales reacciones que se da en el reactor de DR es la conversión del CH_4 y CO_2 en syngas, compuesto principalmente de H_2 y CO . El syngas es enviado al *Water Gas Shift Reactor (WGSR)*, etapa fundamental para enriquecer el contenido de H_2 en el producto. En esta etapa, el CO presente en el syngas reacciona con vapor de agua (H_2O) para producir H_2 y CO_2 . Finalmente, se utiliza una instancia de separación para separar el H_2 del CO_2 , siendo este último recirculado a la etapa de DR y a la etapa de WGSR para mejorar las eficiencias de los procesos (Hajizadeh et al., 2022).

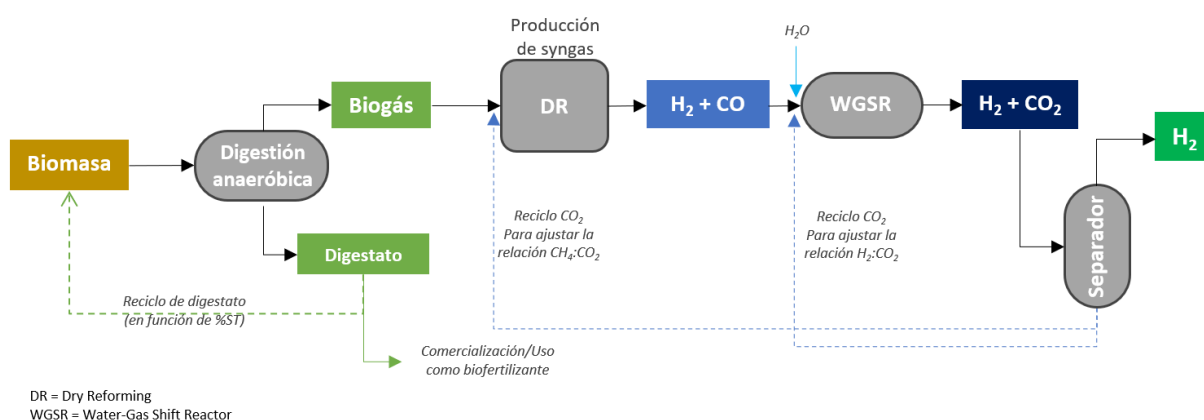


Figura 1: Esquema simplificado del proceso de producción de hidrógeno a partir de Dry Reforming de biogás. Fuente: Elaboración propia a partir de Hajizadeh et al., 2022.

Hajizadeh et al. (2022) realizó múltiples simulaciones para evaluar la performance y optimización del proceso detallado e identificaron un rendimiento de 8,11 kg/h de H_2 a partir de 150 m^3/d de estiércol de vaca alimentando a un biodigestor, o de 48,07 kg/h de biogás alimentando al proceso de DR. Por su parte, Hajjaji et al. (2016) también realizaron simulaciones para identificar las condiciones

termodinámicas óptimas para el proceso, e identificaron un potencial de producción de hidrógeno de 11,53 kg/h H₂ a partir de 97,17 kg/h de biogás. En ambos casos se considera una composición promedio del biogás (CH₄: 60-65%, CO₂: 40-35%).

Huella de carbono en la industria ganadera

Según la FAO (2023), la ganadería representa el 12% de las emisiones de gases de efecto invernadero provocadas por actividades humanas, con el potencial de seguir incrementando su impacto en el clima y medio ambiente si la demanda de carne en el mundo sigue incrementando. A su vez, se identifica que el ganado bovino es la principal fuente de emisiones, representando el 62% de las emisiones totales del sector, y la producción de carne el producto con mayor intensidad de carbono (67% de las emisiones totales), FAO (2023).

En Argentina, el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 2019) identificó que el 21,6% de las emisiones totales provienen de la ganadería. La actividad ganadera tiene distintas fuentes de emisiones (Demarchi, 2023):

- Fermentación entérica: principal fuente de emisiones de CH₄, a través de un proceso biológico que ocurre en el rumen y/o en el intestino grueso de los animales.
- Gestión del estiércol: genera principalmente CH₄ y N₂O, dependiendo del tratamiento y destino que se les da a las excretas.
- Gestión de las pasturas: emisiones producidas a partir del uso de fertilizantes o estiércol en los suelos los cuales incorporan N₂, que al degradarse emite N₂O.
- Uso de combustibles fósiles y consumo de energía: emisiones de CO₂ asociados a los requerimientos energéticos de la cadena de producción ganadera.

Si bien la principal fuente de emisiones proviene de la fermentación entérica, en segundo lugar, se encuentra la gestión del estiércol generando el mayor impacto los sistemas anaeróbicos abiertos, como las lagunas de tratamientos de efluentes. En este contexto, la implementación de sistemas de digestión anaeróbica surge como una alternativa interesante para la gestión de residuos, ya que permite obtener: biogás, fertilizante natural, mejora las condiciones sanitarias del establecimiento y reduce las emisiones de gases de efecto invernadero.

A partir de las guías para la generación de inventarios nacionales de emisiones del IPCC (2006), el factor de emisiones asociado *sólo* a la gestión del estiércol de ganado bovino para América Latina se encuentra entre 1-2 kg CH₄/cabeza-año. Es importante tener presente que el metano tiene un potencial de calentamiento global (*GWP*, por sus siglas en inglés) 28 a 36 veces mayor que el dióxido de carbono.

La producción de biogás también permitiría compensar las emisiones asociadas al uso de combustibles fósiles y otros consumos de energía, en caso de utilizar el biogás para dichos requerimientos. La combustión del biogás permite la oxidación del CH₄, generando CO₂, a una tasa de 83.6 kg CO_{2eq}/GJ, para una composición con 65% de CH₄ y 35% CO₂ (Paolini et al., 2018).

A partir de estos valores, se analiza el potencial de reducción de emisiones del proceso de generación de hidrógeno a partir del reformado de biogás.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Potencial de producción de hidrógeno

A partir del potencial de producción de biogás a partir del estiércol recolectado en *feedlots*, y del rendimiento del proceso de DR para la producción de hidrógeno, se calculó el potencial de producción de hidrógeno total y para un establecimiento tipo.

En la Tabla 3 se muestra el potencial promedio de producción de H₂ para Buenos Aires, Córdoba y Santa Fe. A su vez, en dicha tabla se incluye la capacidad de electrolisis equivalente, que sería necesaria para producir la misma cantidad de hidrógeno, considerando una eficiencia del electrolizador de 55 kWh/kg H₂ y una operación continua, de 24 horas al día.

Tabla 3: Potencial de producción de hidrógeno a partir de biogás en provincias seleccionadas, y capacidad de electrólisis equivalente para misma capacidad de producción. Fuente: Elaboración propia.

Provincia	Producción total H ₂ promedio [ton/año]	Capacidad de electrólisis equivalente [MW]
Buenos Aires	30.581,46	192,01
Córdoba	24.049,38	150,99
Santa Fe	21.681,82	136,13
Total	76.312,66	479,13

La Estrategia Nacional para el Desarrollo de la Economía del Hidrógeno de Argentina (Secretaría de Asuntos Estratégicos de la Presidencia de la Nación, 2023) proyecta una demanda interna de hidrógeno de bajas emisiones de 20.000 toneladas anuales a 2030, y 300.000 toneladas anuales adicionales para el mercado internacional. Si bien la Estrategia contempla como principales tecnologías de producción de H₂ de bajas emisiones la electrólisis y el reformado de metano con vapor con captura de carbono (SMR + CCUS, por sus siglas en inglés), el aprovechamiento del biogás podría representar un aporte significativo a las metas nacionales. Adicionalmente, las provincias de Buenos Aires, Córdoba y Santa Fe presentan una localización estratégica para el desarrollo de la economía de hidrógeno, con una gran conectividad y cercanía a los principales puertos del país y centros industriales, potenciales *hubs* de H₂.

Si se analiza el caso de un establecimiento de *feedlot* tipo, con 400 cabezas de ganado y una producción de biogás de 109 mil m³ de biogás al año, el potencial de producción de H₂ es de 21 toneladas anuales.

Si comparamos la capacidad energética del potencial de biogás que se generaría en el establecimiento, con el del potencial de hidrógeno, se puede observar que la conversión a hidrógeno no implica una pérdida de capacidad energética (Tabla 4). De hecho, para generación de electricidad, la combustión del biogás permite obtener 1,5-1,9 kWh/kg (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura Buenos Aires, Argentina, 2019), mientras que el hidrógeno podría producir unos 20 kWh/kg en una celda de combustible, si se considera una eficiencia de conversión 60%. Para los potenciales de biogás e hidrógeno calculados para un establecimiento tipo, se puede observar como a partir del H₂ se podría generar mayor electricidad la cual, a su vez, no generaría emisiones como si lo genera la combustión del biogás. Otro beneficio adicional de la conversión del biogás al H₂, es que esta molécula también puede utilizarse para la producción de múltiples combustibles valiosos, como amoníaco e hidrocarburos sintéticos.

Tabla 4: Análisis capacidad energética biogás e hidrógeno, para establecimiento de feedlot de 400 cabezas. Fuente: Elaboración propia.

Capacidad energética	Biogás	Hidrógeno	Unidad
Poder calorífico	6,5	3,3 (<i>promedio</i>)	kWh/m ³
Capacidad energética potencial	713.185,2	761.914,1	kWh/año
Generación de electricidad potencial	213.955,6	419.094,7	kWh/año

Reducción en la huella de carbono

Hajizadeh et al. (2022) identificó que el proceso de producción de hidrógeno a partir de biogás, con un proceso de DR permitía reducir las emisiones, con respecto al uso de biogás para generación de energía por combustión. Para una producción de 8.11 kg/h de H₂ a partir de 48.07 kg/h de biogás las emisiones totales del proceso son de CO_{2eq} son 35.73 kg/h.

En la Tabla 5 se analizan los distintos escenarios de emisiones, para un establecimiento ganadero de feedlot de 400 animales:

Tabla 5: Emisiones asociadas al uso de biogás y a la producción de hidrógeno por DR. Fuente: Elaboración propia.

Emisiones por actividad	Valor	Unidad
Generación de electricidad con biogás	215-240	tonCO ₂ /año
Producción de H ₂ a partir de DR	92	tonCO _{2eq} /año

El proceso de producción de hidrógeno, si bien permite capturar gran parte del CO₂ presenta consumos de energía en intercambiadores, reactores y compresores que reducen la eficiencia térmica y energética del proceso. Sin embargo, si se compara el uso directo del biogás para generación de electricidad, con respecto a la conversión de H₂ y su posterior uso para generación de electricidad se lograría una reducción del 60% de las toneladas de dióxido de carbono emitidas. En este proceso, al integrar la digestión anaeróbica con la generación de hidrógeno, también podrían reducirse las emisiones generadas por la gestión de estiércol asociado a establecimientos ganaderos.

La generación de 92,3 ton CO_{2eq}/año, para una producción de 21 ton H₂/año, en un establecimiento de *feedlot* tipo, representa una intensidad de carbono de 4,4 kgCO_{2eq} por kg H₂ producido. Esto es significativamente menor a las emisiones asociadas a la principal cadena de producción de hidrógeno actual, que es a partir de gas natural por reformado de vapor, presentando una intensidad de carbono de 7.5 a 13 kgCO_{2eq}/kgH₂ (Incer-Valverde et al., 2023).

Dado el importante aporte del sector ganadero al inventario nacional de gases de efecto invernadero, y el compromiso asumido por el país de reducir sus emisiones a 2030 (UNFCCC, 2021) todas las estrategias que permitan valorizar energéticamente los residuos y reducir las emisiones netas serían de gran beneficio a nivel nacional. Aunque se ha identificado un gran potencial para la producción de hidrógeno mediante este método, no se espera que esta tecnología reemplace la producción de hidrógeno de bajas emisiones por electrólisis o SMR + CCUS. Sin embargo, es una alternativa interesante a considerar en regiones con una fuerte industria ganadera, como lo es la región central de Argentina.

CONCLUSIONES

La producción de hidrógeno a partir de biogás generado por residuos ganaderos en *feedlots* presenta un notable potencial en Argentina, particularmente en las provincias de Buenos Aires, Córdoba y Santa Fe. Esta tecnología no solo ofrece una solución sostenible para la gestión de residuos, sino que también contribuye a la reducción de la huella de carbono de la industria ganadera al aprovechar los residuos, que mal gestionados pueden generar un gran impacto ambiental. La conversión del biogás en hidrógeno, especialmente mediante tecnologías de reformado como el *Dry Reforming*, mejora la eficiencia energética y reduce las emisiones de gases de efecto invernadero, posicionando a esta iniciativa como una estrategia clave para la transición energética en regiones con una fuerte actividad ganadera. Además, la integración de esta tecnología con la infraestructura existente y su cercanía a los principales centros industriales y puertos del país refuerza su viabilidad y relevancia en el contexto de la estrategia nacional para el desarrollo de la economía del hidrógeno. Así, la implementación de este enfoque no solo impulsa la sostenibilidad del sector ganadero, sino que también contribuye al cumplimiento de los objetivos nacionales en materia de reducción de emisiones y descarbonización.

Como siguientes pasos, se deberá analizar la cadena de valor completa asociada a la producción de hidrógeno a partir de biogás y establecer el costo nivelado del hidrógeno, para entender su competitividad con respecto a las otras alternativas tecnológicas de producción.

REFERENCIAS

- Alsina M. V., del Carmen Muñoz G. M. (2023). Análisis de las normativas de engorde a corral o *feedlot* de la región pampeana desde la mirada de la teoría de sistemas. Ejes de Economía y Sociedad Vol. 7 Núm. 12.
- Bollini Braga L. et al. (2013). Hydrogen production by biogas steam reforming: A technical, economic and ecological analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 28, pp. 166-173.
- Bolsa de Comercio de Rosario (BCR) [en línea] La ganadería argentina creció en exportaciones, producción y empleo en 2022. Dirección URL: <

- <https://www.bcr.com.ar/es/mercados/investigacion-y-desarrollo/informativo-semanal/noticias-informativo-semanal/la-ganaderia-2#:~:text=El%20sector%20ganadero%2C%20clave%20para,de%20cada%2020%20empleos%20argentinos>> [consulta: 30 de julio de 2024]
- Censo 2022, República Argentina [en línea] Resultados definitivos del Censo 2022. Dirección URL: <https://censo.gob.ar/index.php/datos_definitivos_total_pais/> [consulta: 10 de julio de 2024]
- Demarchi J. D., (2023). Huella de carbono de la ganadería de carne argentina: Situación actual y perspectiva de futuro. *Nexo Agropecuario* 11(2).
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), (2020). Actualización del balance de biomasa con fines energéticos en la Argentina. Colección Documentos Técnicos N°19.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), (2023). Pathway towards lower emissions. A global assessment of the greenhouse gas emissions and mitigation options for livestock agrifood systems.
- García A. R. et al. (2015). Observaciones, desafíos y oportunidades en el manejo de efluentes de feedlot en la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Ecología Austral* 25, pp. 255-262.
- García Páez V. Manual de biogás: Conceptos básicos, beneficios de su producción y la aplicación de sus sub-productos. Dirección de Sustentabilidad, Medio Ambiente y Cambio Climático.
- GFA Consulting Group (2021). Sector Residencial: Principales consumos en la región AMBA. Proyecto Eficiencia Energética en Argentina.
- Glessi W. M. et al. (2012). Impacto ambiental de los contaminantes provenientes de aguas residuales de feed-lot sobre aguas subterráneas. *Avances en Ciencias e Ingenieras* 3(4), pp. 81-87.
- Hajizadeh et al. (2022). Hydrogen production from biomass through integration of anaerobic digestion and biogas dry reforming. *Applied Energy* 309.
- Hajjaji N. et al. (2016). Life cycle assessment of hydrogen production from biogas reforming. *International Journal of Hydrogen Energy* 41(14), pp. 6064-6075.
- Incer-Valverde J. et al. (2023). “Colors” of hydrogen: Definitions and carbon intensity. *Energy Conversion and Management* 291.
- IPCC (2006). Chapter 10: Emissions from livestock and manure management.
- Kumar R. et al. (2022). Overview of hydrogen production from biogas reforming: Technological advancement. *International Journal of Hydrogen Energy* 47, pp. 34831-34855.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura Buenos Aires, Argentina (2019). Guía teórico-práctica sobre el biogás y los biodigestores. Colección de Documentos Técnicos N°12.
- Paolini V. et al. (2018). Environmental impact of biogas: A short review of current knowledge. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 53(10), pp. 899-906.
- Pham Minh D. et al. (2018). Chapter 4 - Hydrogen production from biogas reforming: An overview of Steam Reforming, Dry Reforming and Tri-Reforming of Methane. *Hydrogen Supply Chain*, pp. 111-166.
- PROBIOMASA [en línea] Proyecto para la promoción de la energía derivada de biomasa. Dirección URL: <<http://www.probiomasa.gob.ar/site2021/institucional.php>> [consulta: 01 de julio de 2024]
- Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación [en línea] El rodeo bovino se incrementó 1,6% y alcanzó 54.242.595 cabezas en 2022. Dirección URL: <[https://www.argentina.gob.ar/noticias/el-rodeo-bovino-se-incremento-16-y-alcanzo-54242595-cabezas-en-2022#:~:text=La%20Secretar%C3%ADa%20de%20Agricultura%2C%20Ganader%C3%ADa,Animal%20\(SIGSA\)%20del%20Senasa](https://www.argentina.gob.ar/noticias/el-rodeo-bovino-se-incremento-16-y-alcanzo-54242595-cabezas-en-2022#:~:text=La%20Secretar%C3%ADa%20de%20Agricultura%2C%20Ganader%C3%ADa,Animal%20(SIGSA)%20del%20Senasa)> [consulta: 10 de julio de 2024]
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, (2019). Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero.
- Secretaría de Asuntos Estratégicos de la Nación (2023). Estrategia Nacional para el Desarrollo de la Economía del Hidrógeno.
- SENASA (2021). Caracterización de establecimientos de engorde a corral septiembre 2021.
- UNFCCC (2021) [en línea] Actualización de la meta de emisiones netas de Argentina al 2030. Dirección URL: <<https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-05/Actualizacio%CC%81n%20meta%20de%20emisiones%202030.pdf>> [consulta: 01 de agosto de 2024]

POTENTIAL OF HYDROGEN PRODUCTION FROM BIOGAS: ENHANCING WASTE MANAGEMENT AND CARBON FOOTPRINT IN ARGENTINA'S LIVESTOCK INDUSTRY

ABSTRACT This article explores the potential for hydrogen production from biogas generated by livestock waste in Argentina, with a particular focus on the provinces of Buenos Aires, Córdoba, and Santa Fe, where livestock activity is the most intense. The study examines how feedlot systems, by concentrating large numbers of animals in confined spaces, produce a significant volume of organic waste that can be transformed into biogas through biodigesters. Biogas, primarily composed of methane and carbon dioxide, can be converted into hydrogen using reforming technologies such as Dry Reforming, which not only improves the energy efficiency of the process but also reduces greenhouse gas emissions. This approach offers a dual benefit: sustainably managing livestock waste while contributing to the decarbonization of the energy sector. The results of this study suggest that hydrogen production from biogas is not only technically feasible but also holds significant potential to support Argentina's energy transition, particularly in regions with a strong livestock industry presence.

Keywords: Biogas, Green Hydrogen, Cattle waste management, Carbon footprint