INSTITUTO ARGENTINO DE PROFESORES UNIVERSITARIOS DE COSTOS

.

XLVI CONGRESO ARGENTINO DE PROFESORES

UNIVERSITARIOS DE COSTOS

ANÁLISIS DE RENDIMIENTO DE UN TAMBO ANTE EL USO DE LOS DESECHOS PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

Categoría propuesta: Resultados o avances de proyectos de investigación o extensión

Autores

Mariano Andrés Romero (Socio adherente)

Silvana Andrea Sattler (Socia adherente)

Paula Beatriz Schuck (Socia adherente)

Julián González Treglia (Socio adherente)

Argentina, agosto de 2023

ANÁLISIS DE RENDIMIENTO DE UN TAMBO ANTE EL USO DE LOS DESECHOS PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

ÍNDICE

1. Resumen **2**

2. Introducción **3**

3. La industria del Biogás en Argentina **6**

4. Producción de Biogás en Tambos argentinos **8**

5. Análisis de una empresa del sector **9**

6. Conclusiones **12**

7. Bibliografía **13**

ANÁLISIS DE RENDIMIENTO DE UN TAMBO ANTE EL USO DE LOS DESECHOS PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

Categoría propuesta: Resultados o avances de proyectos de investigación o extensión

1. Resumen

En el presente trabajo, se realizará un análisis de la producción de biogás de una empresa santafesina, con el objetivo de evaluar los costos y rentabilidad asociados con la gestión de sus residuos tamberos a través de la generación de biogás. Para el análisis, se inicia conociendo qué es el biogás y cómo puede generarse el mismo, para continuar con una breve aproximación del análisis de la situación actual en Argentina frente a esta incipiente industria. Luego, se plantea el análisis del caso en particular, proporcionando una primera aproximación de los beneficios que la producción de biogás podría ofrecer a la empresa, al tratar sus residuos de manera ambientalmente más responsable.

Palabras clave: Biogás, Residuos del tambo, Energía Renovable, Sostenible.

2. Introducción

2.1 Antecedentes

En Decunto y Caballero (2022) se analiza que Argentina se está integrando en el contexto global al comprometerse a reducir sus emisiones y promover las energías renovables. Ha incrementado la generación de energía renovable, pero aún debe abordar otros aspectos de la transición energética. Los espacios rurales se están reimaginando como productores de energía solar, eólica y biomasa. La biomasa, vinculada a la producción de excretas, ofrece una oportunidad constante de generación de energía y empleo. Aunque se han iniciado proyectos de biogás en la Región Pampeana, principalmente en *feed lots* y algunos tambos, la mayoría de estos proyectos se han desarrollado a través del programa RenovAr, que se centra en unidades de producción a gran escala. Se necesita promover la tecnología para pequeños y medianos productores, buscando beneficios como energía renovable, autoconsumo, economía circular y diversificación de actividades.

Sin embargo, hay obstáculos. Los proyectos a gran escala requieren una inversión elevada y enfrentan dificultades de acceso a financiamiento. Los proyectos más pequeños carecen de apoyo financiero y no están integrados en programas. La importación de equipamiento tecnológico es necesaria, ya que la oferta nacional es limitada y faltan especialistas en mantenimiento. Los biodigestores tipo Taiwán podrían ser una alternativa para proyectos más pequeños, ya que son más accesibles y se pueden construir con tecnología local (Decunto y Caballero, 2022).

Adicionalmente, en Vázquez (2023) se indica que los establecimientos con mayor potencial de producción de biogás son los que crían aves y cerdos. Este enfoque puede reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en la región. El potencial eléctrico generado podría abastecer a hogares y negocios. Sin embargo, hay desafíos económicos, técnicos, legales, políticos e institucionales. Las barreras incluyen la falta de valorización de externalidades positivas, altos costos iniciales, falta de regulación y programas constantes, y carencia de información y mano de obra cualificada. Los proyectos de biogás podrían convertir pasivos ambientales en activos energéticos al tratar los residuos pecuarios y generar beneficios ambientales y económicos. Para ser viables, estos proyectos deben considerar no sólo la producción de energía, sino también la valorización de externalidades positivas para el desarrollo local y ambiental. Esto puede justificar su desarrollo y promoción en la región.

Díaz (2019) aporta que, a pesar de la imposibilidad legal de inyectar el biogás refinado a la red de gas natural, resulta interesante el análisis de factibilidad de la realización de la purificación. En un futuro no muy lejano es probable que esta posibilidad encuentre un marco legal. Este tipo de generación de energía resulta particularmente fructífera dado que se inocuizan residuos, se disminuyen las emisiones de gases que producen el efecto invernadero y frente a otras formas de energías renovables se independiza de factores climáticos. Finalmente, a partir de un análisis económico comparativo entre dos propuestas diferentes, se concluye que ambas resultan económicamente factibles, resultando más rentable la posibilidad de comercializar al biogás crudo de salida del digestor en forma de energía eléctrica por sobre la comercialización de dicha energía generada a partir de un biogás refinado.

2.2 Comprendiendo al Biogás

Durante el periodo comprendido entre los años 2016 y 2021, la matriz de generación de energía eléctrica en Argentina experimentó una estabilización en la producción de energía eléctrica en base a fósil, al mantenerse constante la producción en base a fósil, mientras que dentro de la energía eléctrica producida por fuentes renovables pierde peso la energía hidráulica, ganando posiciones otras de índole renovables, como el biogás.

A nivel mundial, el biogás se ha convertido en una solución importante para la búsqueda de fuentes de energías renovables y sostenibles. Argentina tiene un gran potencial para desarrollar esta fuente de energía debido a su amplia gama de actividades agropecuarias e industriales. El biogás, producto de la descomposición de materia orgánica en ausencia de oxígeno, ofrece una oportunidad única para abordar los desafíos ambientales y energéticos.

Es una fuente de energía de fácil implementación que permite conseguir materia prima a bajo costo, colaborar con el control de la contaminación, y suministrar otros materiales estabilizados como biofertilizantes para cultivos; además, aporta valor al tratamiento de efluentes y residuos sólidos urbanos.

El biogás es un combustible renovable formado por una mezcla de metano en un 50% a 70% y dióxido de carbono, con pequeñas cantidades de otros gases como hidrógeno, nitrógeno y sulfuro de hidrógeno, siendo producto de la conversión bioquímica o digestión de biomasa orgánica.

Para transformarlo en energía eléctrica, la misma se convertirá al usar motores de combustión interna que funcionan con el biogás generado por la digestión anaeróbica. Para realizar este proceso de fermentación anaeróbica se necesitan diversos tipos de microorganismos: de fase de hidrólisis, de fase de acidificación y de fase metanogénica.

El biogás se utiliza en equipos de consumo de gas natural, en algunos casos, con pequeñas modificaciones: por ejemplo, en cocinas y calentadores, lámparas a gas, heladeras domésticas, quemadores infrarrojos utilizados en la calefacción de ambientes. También se usa en motores de combustión interna tanto nafteros como diésel.

En el proceso de producción y fermentación, se extrae carbono, trazas de azufre, hidrógeno y nitrógeno, siendo un efluente viscoso, característica que se reduce en un digestor al transformar en el mismo los sólidos volátiles.

Respecto a las materias primas usadas en la producción de biogás son principalmente de origen orgánico y provienen de diferentes fuentes, siendo las más comunes las siguientes:

- Residuos provenientes de la cría de ganado y avícola que, si bien poseen altos niveles de nitrógeno, en general, el potencial de producción de biogás es bajo, pero colabora en el aprovechamiento de dichos desperdicios y en reducir con ello los niveles contaminantes de los mismos.
- Residuos agrícolas de diversos tipos de cultivos, poseen diversos potenciales respecto a la producción del biogás acorde al cultivo del que se trate, pero depende de los ciclos de siembra y cosecha de estos.
- Residuos del procesamiento de animales y vegetales en la industria alimentaria, en este caso suele ser necesario realizar algún tratamiento previo al residuo para luego usarlo en la producción del biogás.
- Uno de los residuos que tiene mayor potencial, son los provenientes del matadero.
- Los residuos provenientes de actividades pesqueras son empleados en la producción de digestión anaeróbica.
- Tratamientos de depuración de aguas, usando el lodo proveniente de las mismas. Y tratamientos de vertederos.
- Los residuos de las plantas de biocombustibles.
- Residuos Sólidos Urbanos, teniendo un potencial variable en el nivel de rendimiento en la producción del biogás, ya que el mismo dependerá del tipo de residuo

usado en la producción y de la separación que se haya realizado de los mismos en el origen.

Respecto a los sistemas de producción se pueden citar a los siguientes:

- Sistemas híbridos, que sirven para tratamiento de residuos de frutas, verduras, residuos urbanos, estiércol, residuos de alta concentración de azúcares y bajo contenido en sólidos. Son sistemas de alta eficiencia, pero con alto costo de implementación.
- Sistemas continuos industriales que son de tipo de mezcla completa con y sin recirculación, o de tipo de retención de biomasa. Son heterogéneos, presentando diversas ventajas y desventajas según el tipo elegido.
- Sistemas semicontinuos usados para tratamiento de estiércol en especial en zonas rurales. Son más rudimentarios y en general requieren de menores inversiones.

En lo que refiere la producción de biogás usando como materia prima principal a estiércol de animales, la degradación dependerá del tipo de animal, de la alimentación que haya recibido, así como el manejo que de los mismos se realice. Es por ello, que se tienen rindes diversos según distintos autores, pero siguiendo a García Páez V. (2015), la variable volumen de estiércol puede presentar los siguientes rendimientos, detallados en la Tabla 1:

Tabla N° 1. Volumen de estiércol producido y potencial de rendimiento de Biogás

Especie	**Peso vivo Kg**	**Kg estiércol/día**	**l/kg S.V.**	**% Metano**
Cerdos	50	4,5 - 6	340 – 550	65 – 70
Vacunos	400	25 -40	90 – 310	65
Equinos	450	12 – 16	200 – 300	65
Ovinos	45	2,5	90 – 310	63
Aves	1,5	0,06	310 – 620	60
Caprinos	40	1,5	110 - 290	-----

Fuente: Manual de Producción de Biogás. INTA Castelar

Es importante tener presente que el biogás así producido tiene diversos usos potenciales, como el uso en calderas, motores o turbinas para generar calor o electricidad, motores de cogeneración que permiten generar calor y electricidad al mismo tiempo, en una red de gas natural o como combustible para automóviles.

El uso de los residuos para producir el biogás conlleva a reducir el nivel de residuos y, por lo tanto, la contaminación que los mismo producen en el suelo y el agua, evita la emisión de gases de efecto invernadero, disminuye el uso de otras energías que no son limpias o renovables (como el uso de leña), facilita la obtención de fertilizantes orgánicos de suelo reduciendo o eliminando el uso de fertilizantes químicos y con ello reduce los costos de producción agrícola.

La producción de biogás a partir de residuos se presenta como una solución integral y sostenible para la gestión de desechos, la mitigación del cambio climático y la promoción de prácticas agrícolas más responsables desde el punto de vista ambiental y económico.

Por otra parte, para analizar la conveniencia de producción de biogás se debe comparar sus costos con los de obtener otras fuentes de energía. Dentro de los costos de

producción de biogás se deben considerar el costo del digestor, costos de operación, costos de mantenimiento de planta, precio del sustrato, además de analizar especialmente los costos financieros; pero teniendo como posible ingreso a los beneficios obtenidos del efluente y de la utilización del dióxido de carbono. Es importante tener presente el valor de la materia prima a usar, y si la misma no tiene valor de mercado, considerar el uso alternativo para la misma.

Se puede observar que la conveniencia de producción de biogás viene dada por los costos relativos de obtenerlo, en términos de otras fuentes de energía, la facilidad y bajo costo de conseguir la materia prima y el doble beneficio que permite reducir la contaminación y tratar los desechos produciendo energía y otros productos secundarios como fertilizantes.

3. La industria del Biogás en Argentina

Son pocos los proyectos de producción de biogás en Argentina ya sean operativos o en construcción. Existen algunas anaeróbicas cubiertas sin calefacción y sin sistemas de agitación, que son en especial para el autoconsumo; así como también proyectos de mayor sofisticación con biodigestores para la interconexión y suministro a la red eléctrica. A pesar de la incipiente cantidad de plantas, en el país se cuenta con la posibilidad de generar biogás en grandes escalas, dado que cuenta con abundante materia prima; en especial las que provienen de los efluentes agropecuarios, agroindustriales y residuos orgánicos urbanos.

Informantes calificados indican que, en la actualidad, se encuentran en desarrollo entre sesenta a ochenta proyectos de variadas tecnologías, escalas, fuentes y destino de la energía, con un gran potencial distribuidos en el territorio nacional. En San Luis, se inauguró la primera planta de biogás del país con dos biodigestores de capacidad de 200 metros cúbicos para abastecer a la planta recicladora de “El Jote”, su capacidad de procesamiento es de unas 3 tn de residuos sólidos urbanos por día que se transforman en unos 300 m3 de biogás destinado a un grupo electrógeno de 100 kv de potencia para satisfacer las necesidades de energía de la planta.

Según informa la Cámara Argentina de Energías Renovables (CADER), en el año 2015, 20 de las plantas instaladas en el país son grandes instalaciones para autoconsumo, en general de tratamiento de residuos sólidos urbanos o componentes orgánicos, mini-biodigestores o mini lagunas cubiertas. Se ubican en general al norte de la provincia de Buenos Aires y en la región del Litoral, aunque hay presencia en otras provincias, cuyas plantas aprovechan las materias primas orgánicas de las industrias de la zona.

En Córdoba, en la localidad de Las Junturas, a 113 kilómetros de la capital provincial, en el año 2017, se instaló una planta de generación de energía eléctrica a base de cáscara de maní, cuya producción de energía se utiliza en un 10% para funcionamiento de la planta, un 25% para la industrialización del maní y el 65% restante se estima que puede llegar a abastecer aproximadamente entre 3000 y 8000 hogares al año, proveyendo a los mismos la energía a través de la red nacional de electricidad.

En Argentina, la Ley Nacional 26.093/2006 y su Decreto Reglamentario 109/2007 constituyeron hasta el año 2021 el marco legal de la industria de los biocombustibles, pero sólo menciona de manera tangencial al biogás, pero es un buen punto de partida para el futuro dictado de normas referentes a dicho producto.

Al analizar el Régimen Regulatorio, se observa que el mismo trata a la producción a través de fijar cupos, establece los precios internos, fija el porcentaje del corte obligatorio (mezcla del biocombustible con combustible fósil) y los requisitos y autoridad de aplicación para la autorización de instalar plantas y poder ejercer la actividad de producción en biodiesel, bioetanol y biogás. Por otra parte, establecen instrumentos de promoción que

actúan sobre las empresas autorizadas como incentivos fiscales federales. En estas líneas de tratamiento no se especifica nada sobre la regulación de plantas de biogás.

El tratamiento en la Ley 26093 para el caso de biogás tenía un desarrollo escaso, definiendo en su artículo 5 como aquel que “se produce a partir de materias primas de origen agropecuario, agroindustrial o desechos orgánicos, que cumplan los requisitos de calidad que establezca la autoridad de aplicación”. Luego en su artículo 11 especifica que el biogás se usará en sistemas, líneas de transporte y distribución acorde lo establezca la autoridad de aplicación. Finalmente, en el artículo 12, regula el consumo de biocombustibles por el estado nacional, especificando que el biogás debe consumirse acorde a los niveles que establezca la autoridad de aplicación, usándose el mismo sin corte o mezcla. Por otra parte, el Decreto Reglamentario, en su artículo 14 fija que será la autoridad de aplicación la que defina las condiciones de uso de biogás puro y las condiciones en las cuales podrá integrarse a una red de gas natural, y establecerá las condiciones de operación.

Actualmente, con la vigencia de la nueva Ley 27.640/2021, “marco regulatorio de Biocombustibles”, al hablar de biogás se establece que será la autoridad de aplicación la que fijará los requisitos y condiciones para el autoconsumo, distribución y comercialización del biogás crudo, biogás, biometano, entre otros biocombustibles citados, ya sean consumidos de manera pura o a través de mezclas establecidas.

Por otra parte, la Ley 27.191/2015 en el artículo segundo, que modifica la Ley 26.190 de Fomento Nacional para el Uso de Fuentes Renovables de Energía Destinada a la Producción de Energía Eléctrica, define que “las fuentes renovables de energía no fósiles idóneas para ser aprovechadas de forma sustentable en el corto, mediano y largo plazo: energía eólica, solar térmica, solar fotovoltaica, geotérmica, mareomotriz, de las corrientes marinas, hidráulica, biomasa, gases de vertedero, gases de plantas de depuración, biogás y biocombustibles, con excepción de los usos previstos en la ley 26.093”.

Es importante aclarar que el objetivo establecido por la Ley 27.191, es que un 20% de energías renovables participen de la matriz eléctrica en el año 2025. Con el fin de cumplimentar dicho objetivo, se lanzó el Programa RenovAr en el año 2016, con el objetivo de incorporar 10.000 MW de energía renovable en la matriz energética para el año 2025.

En el país se establece un Programa de abastecimiento de energía eléctrica a partir de fuentes renovables (RenovAr). En el mismo, los adjudicados deben vender su producción a la Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico Sociedad Anónima (CAMMESA) mediante Contratos de Abastecimiento de Energía Eléctrica, asegurando su fuente de ingresos por un periodo extenso, entre 10 y 20 años en general. En este contexto, el Fondo para el Desarrollo de Energías Renovables (FODER) garantiza el pago de la energía adjudicada, en caso de que CAMMESA no pagué los montos acordados en los contratos. Posee además la garantía del Banco Mundial, existiendo con ello dos instancias que minimizan el riesgo en el Programa RenovAr.

Según información del Ministerio de Energía de la Nación, la fase de construcción de las obras de biogás (que incluyen la obra civil y el montaje, como así también la obra electromecánica) se estima en tres años y contempla eventualidades. Una vez finalizadas, el periodo de operación y mantenimiento (que requiere personal especializado de manera continua) toma en cuenta los 20 años de los PPA. Cabe mencionar que, para el caso de Biogás de relleno sanitario, tiene una complejidad menor que la de biogás con biodigestor, y concentran en el primer año la demanda de trabajo para la construcción civil y montaje electromecánico. Mientras que la fase de operación y mantenimiento es similar en ambos tipos de producción de biogás.

Es importante tener presente el doble beneficio que genera el aprovechamiento de la biomasa residual en los establecimientos, dado que favorece la producción de energía renovable y la consecuente reducción en el uso de energía de fuentes no renovables, a la vez que ayuda a gestionar de manera eficiente los residuos reduciendo la contaminación provocada por su desecho.

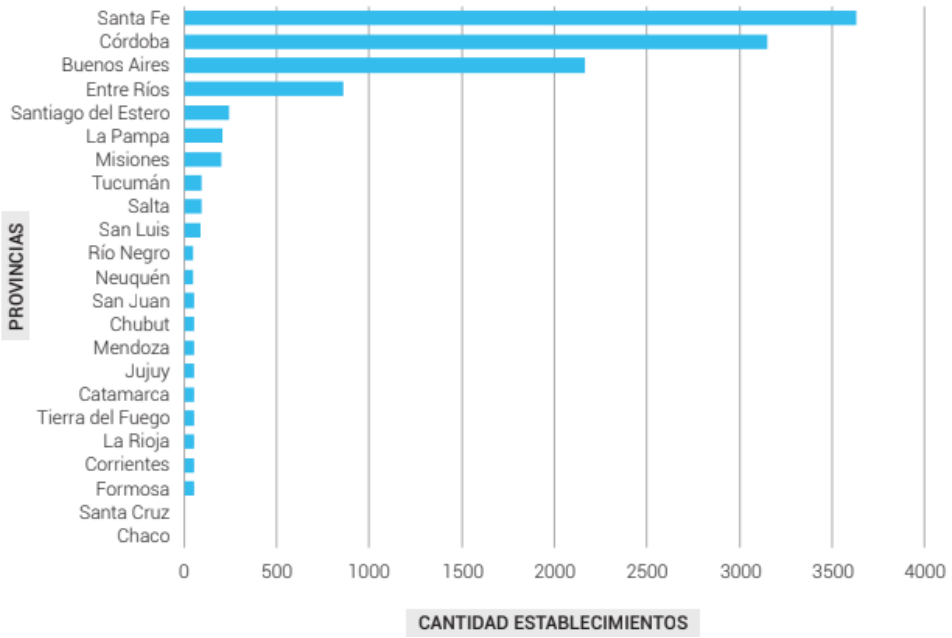
4. Producción de Biogás en Tambos argentinos

La producción de leche ha experimentado una importante concentración e intensificación desde la década de los noventa, lo que refleja una disminución del número de explotaciones y un notable aumento en el tamaño de los rodeos. (García et al., 2009).

Según el Informe Anual de Potencial de Biogás - Tambo (2021); se registraron más de 10.400 establecimientos lecheros en 2020, con alrededor de 3 millones de vacas.

El siguiente Gráfico 1 muestra que las provincias de Santa Fe, Córdoba, Buenos Aires y Entre Ríos concentran la producción lechera en más del 90%.

Gráfico N° 1: Cantidad de establecimientos totales por provincia.



Fuente: Informe Anual de Potencial de Biogás – Tambos (2021)

La industria lechera desempeña un papel fundamental en la economía y con su desarrollo se generan residuos orgánicos, como estiércol y efluentes líquidos. Ante los desafíos ambientales y la búsqueda de fuentes de energías renovables, el biogás en tambos ha surgido como una alternativa para abordar la gestión de estos desechos y producir energía limpia y sostenible.

La implementación del biogás trae además beneficios ambientales como económicos para productores lecheros. Por un lado reduce la contaminación ambiental asociada a la gestión de los residuos y disminuye las emisiones de gases efecto invernadero. Por otro lado, permite a los productores obtener una fuente adicional de energía y posibles certificados de reducción de consumo energético.

Aunque el biogás de tambo tiene muchos beneficios, también presenta algunos desafíos al implementarlo. Éstos incluyen la necesidad de una inversión inicial, en general importante, y la necesidad de tener el conocimiento técnico adecuado para su operación y mantenimiento. No obstante, a medida que se establece una regulación más favorable y se fomentan incentivos para la implementación de estas tecnologías, el biogás se presenta como una opción para la generación de energía limpia y sostenible.

5. Análisis de una empresa del sector

Se ha seleccionado como caso de análisis a una empresa líder en el desarrollo de su modelo circular en el país y el mundo. El establecimiento analizado está situado en el sur de la provincia de Santa Fe y se dedica principalmente a la actividad lechera. A partir del estiércol generado por las vacas de dicho tambo, se genera energía eléctrica por medio de un biodigestor, por lo cual, se logra aprovechar un alto volumen de material tradicionalmente direccionado a los efluentes, en la producción de un componente principal de alto valor como ser la energía eléctrica, y de un subproducto con valor agregado, un biofertilizante. El destino final de la energía es la red del Sistema Argentino Interconectado (SAI), y el destino del biofertilizante es el de su utilización en la generación de granos y forrajes para alimento de las vacas del tambo, constituyendo así un claro caso de modelo circular de la economía.

Nuestro análisis se concentra en el dimensionamiento de la estructura del proceso de generación eléctrica a partir del biogás producido por los biodigestores, con el fin de poder mostrar una estructura de costos y rendimiento generales que muestran una de las tantas configuraciones productivas posibles en el aprovechamiento de biomasa para la generación de biogás. Respecto a la tecnología, es importante conocer que existen muchos tipos de biodigestores, y cada empresa optará por aplicar algún tipo específico en función, entre otros factores, al objetivo que se persiga, a los recursos que disponga (dinero a invertir y tipo de financiamiento a optar), y a la clase de sustrato que alimentará al biodigestor (Casanovas, G. et al., 2019).

En nuestro caso de estudio, nos encontramos ante un biodigestor del tipo mezcla completa de alta tecnología.

Este tipo de biodigestores permite garantizar una producción de biogás y, consecuentemente, de energía térmica y/o eléctrica constante las 24 horas del día de los 365 días del año. Su vida útil se estima en 15 a 20 años, lo que permite firmar contratos de largo plazo de suministro de energía eléctrica a la red (Casanovas, G. et al., 2019).

La presente investigación se basa en estimaciones propias hechas a partir de búsquedas en fuentes web relacionadas con el sector y en el sitio web oficial de la empresa en estudio, así como entrevistas informales con personas que están directa o indirectamente relacionadas con la actividad y la empresa. Dado que el objetivo del presente trabajo consiste en presentar un posible cálculo estructural y análisis de costos en relación con un tipo específico de biodigestor y planteo productivo, se destaca que no buscamos la exactitud de los datos mostrados, sino el poder ilustrar algunas conclusiones y aproximaciones numéricas que permitan comprender las principales variables a analizar en un trabajo más detallado y profesional sobre los costos en los procesos de aprovechamiento de biogás.

Algunos datos generales relevados de la planta bajo estudio son los siguientes:

- Año de construcción: 2017
- Capacidad de Planta: 1,4 Mw
- Vida útil del proyecto: 20 años

- Inversión total: u$s 6.000.000
- Total vacas: 7.500

Al analizar el proceso, se observa que el biodigestor recibe las excreciones de los animales del tambo y algunos restos provenientes de la alimentación de estos. Con ese material orgánico se procede a la generación de biogás en biodigestores de mezcla completa de alta tecnología. Una vez obtenido y almacenado ese biogás, se utiliza el mismo para la generación de energía eléctrica a partir de motores de ciclo Otto. Esta energía obtenida es entregada en su totalidad a la red interconectada de energía. Como subproducto del proceso de biogás, se obtiene un biofertilizante que es utilizado en su totalidad dentro del establecimiento, permitiendo así la mejora de las propiedades productivas de su suelo.

Para el cálculo del resultado económico anual del ciclo completo de biogás-energía, se partió de los siguientes datos estimados mensuales:

Generación mensual:

- Biogás: 450.000 m³
- Energía eléctrica: 800 Mw
- Precio pagado por CAMESA: u$s 190 x Mw

En base a los datos del párrafo anterior, junto con estimaciones de costo operativo por traslado del material desde el tambo hacia el biodigestor (materia prima), mano de obra utilizada en el biodigestor y generación de energía, y otros gastos de producción, podemos plantear el siguiente cuadro de resultados anualizado:

Gráfico N° 2: Estado de Resultados Proyectado

Estado de resultados - Proyección anual en base a estimados mensuales (en u$s)

Ingreso Anualizado		**1.824.000**
Costos		
Materia Prima (19%)		*- 180.000*
- Flete estiercol	- 120.000	
- Flete descarte alimentación	- 60.000	
Mano de Obra (13 %)		*- 120.000*
Otros (68%)		*- 637.500*
Total Costo Anualizado		**- 937.500**
Resultado Anualizado		**886.500**
% sobre ingresos		49%

Fuente: Elaboración propia.

Al analizar los ingresos y costos de la planta bajo estudio, se observa que el resultado anual es de $886.500, lo que representa una rentabilidad sobre ingresos del 49%.

Este resultado anual, expresado en dólares, nos permitirá contar con una primera aproximación a la estructura de costos y margen de ganancia de la actividad de generación de energía eléctrica a partir del uso del biogás. Desde aquí podemos comenzar a profundizar en aspectos más específicos que inciden de muy variadas formas sobre dicho resultado. Dentro de sus variables externas, las más relevantes en cuanto a impacto son: el precio que se recibe por el Mw de energía entregada, el nivel de actividad del tambo, regulación y exigencia ambiental o técnica del mercado. Respecto a los factores internos de gestión, este resultado dependerá principalmente de la eficiencia de conversión de material orgánico en biogás, de la eficiencia de conversión de biogás a energía eléctrica, así como del nivel de gastos necesarios para el mantenimiento y operación de la planta.

La estimación del periodo de pago de la inversión se puede realizar utilizando este resultado en dólares, lo que nos da un periodo de repago de 6,76 años (u$s 6.000.000/u$s 886.500)

Otro punto a tener en cuenta al momento de interpretar el resultado es la gran variabilidad de planteos productivos que podemos encontrar en la generación de biogás y su posterior transformación a energía. Esto dificulta las comparaciones directas que son habituales en otras actividades como la agropecuaria, láctea, cárnica, entre otras, y nos obliga a conocer y analizar, con buen nivel de detalle, el objetivo y el planteo operativo de cada empresa a la hora de realizar un análisis horizontal de la actividad dentro del sector.

Indicadores de eficiencia

Cómo ya hemos mencionado en el apartado anterior, el control y seguimiento de la eficiencia de conversión entre los distintos productos del ciclo, es de vital importancia para obtener resultados positivos y dominio de la eficiencia del proceso de punta a punta. En nuestro caso de estudio, hemos calculado estos coeficientes para así poder tener un elemento fundamental a la hora de realizar evaluaciones sobre el rendimiento y gestión de la actividad.

Gráfico N° 3: Determinación del coeficiente de conversión

Total biogás producido	5.400.000	m³
Costo x m³ (en u$s)	**0,17**	u$s / m³
Total energía eléctrica entregada	9.600	Mw
Costo x Mw (en u$s)	97,66	u$s / Mw
Costo x Kw (en u$s)	**0,0977**	u$s / Kw

$$\textit{Coef de conversión} = \frac{\text{Energía producida (Kw)}}{\text{Biogás Producido (m}^3\text{)}} = \mathbf{1{,}78\ (Kw/m^3)}$$

Fuente: Elaboración propia.

Estos costos unitarios en términos de m³ de biogás y Kw de energía eléctrica, así como la relación de ambas magnitudes físicas, son los principales indicadores globales que permiten no solo evaluar la gestión interna, sino también evaluar de manera permanente la conveniencia, o no, de generar energía para consumo propio, de tratar efluentes adicionales o disponerlos a través de proveedores de servicios externos, entre otras acciones más.

Por último, es menester considerar que este tipo de proyectos está concebido a un horizonte de 20 años, por lo cual, se vuelve indispensable ir monitoreando el estado de desgaste y mantenimiento de las instalaciones y equipamiento utilizado, para ir previendo futuras inversiones que permitan mantener o mejorar la eficiencia productiva, así como la prolongación de su vida útil para periodos posteriores a dicho plazo. Esta situación seguramente irá impactando en el resultado del proyecto actual, por lo cual, su correcto tratamiento contable y consideración en el análisis de gestión, es de suma importancia para poder mantener la comparabilidad de los indicadores a lo largo del tiempo.

6. Conclusiones

De acuerdo con Magyp (2021), Argentina posee un amplio potencial para producir biogás a partir de biomasa residual, lo que implicaría una reducción significativa del pasivo ambiental asociado con su aplicación. El uso de biomasa de desecho mejora la sostenibilidad de las operaciones productivas de las empresas al permitir el cambio de energía.

Es importante tener presente, que para fomentar la industria del biogás, que aporta efectos positivos en cuanto a la reducción de importaciones, la generación de nuevos puestos de trabajo, y la vez, ayuda a reducir la contaminación, se hace necesario que en el país haya políticas claras y estables, con un marco regulatorio adecuado, incentivos a la producción y financiamiento para la promoción de apoyo al sector, así como también, las tarifas que determine la autoridad de aplicación, permita el desarrollo del sector, al menos en sus etapas iniciales.

Si bien los residuos de la cría de ganado bovino, porcino y avícola poseen altos niveles de nitrógeno, el potencial de producción de biogás es bajo, pero colabora en el aprovechamiento de desperdicios y en reducir los niveles contaminantes de suelo y agua.

Al realizar una primera aproximación a la estructura de costos y margen de ganancia de la actividad de generación de energía eléctrica a partir del uso del biogás en la planta bajo estudio, se identificaron variables claves, las más relevantes son: el precio que se recibe por el Mw de energía entregada, el nivel de actividad del tambo, la regulación y exigencia ambiental o técnica del mercado, la eficiencia de conversión de material orgánico en biogás y del biogás a energía eléctrica, así como del nivel de gastos necesarios para el mantenimiento y operación de la planta.

Cómo ya hemos mencionado, el control y seguimiento de la eficiencia de conversión entre los distintos productos del ciclo, es de vital importancia para obtener resultados positivos y dominio de la eficiencia del proceso.

Por último, pero no menos importante, el análisis realizado ha permitido obtener una imagen preliminar de la viabilidad económica de la producción de energía eléctrica a partir del biogás. El aprovechamiento del biogás representa una importante oportunidad para la empresa, tanto en términos ambientales como económicos, al convertir los residuos ganaderos en una fuente de energía renovable y en un biofertilizante agregando valor al tratamiento de los residuos.

7. **Bibliografía**

Bragachini, A. M., Mathier, A. D., Méndez, A. J., Bragachini, M., & Saavedra, A. (2014). Oportunidades del sector agropecuario y agroindustrial argentino para la generación de bioenergía en origen. *Jornada Nacional de Forrajes Conservados (9 y 10 de abril de 2014). Córdoba, Argentina: Manfredi*.

Casanovas, G., Della Vecchia, F., Reymundo, F., Serafini, R. (2019). *Guía teórico-práctica sobre el biogás y los biodigestores*. Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura

Cavalcante, R. F., Rezende, F. W., & Santos, P. (2017). *Estudio comparativo del potencial de producción de biogás a partir de residuos sólidos urbanos de las ciudades de Quixadá (Ceará, Brasil) y Córdoba (Argentina).*

Constantini P. & Di Paola, M. M. (2019). Pr*ograma RenovAr: ¿éxito o fracaso?* Informe de la Fundación Ambiente y Recursos Naturales. (31 de Agosto). https://farn.org.ar/wp-content/uploads/2020/06/FARN_Programa-RenovAr_Exito-o-fracaso.pdf

Cristiano, G., & Alvarado, C. B. (2020). ¿Puede el biogás generado a partir de residuos de ganado reducir las externalidades negativas? Un caso de estudio en Argentina. *Semestre económico*, *23*(54), 129-144.

Decreto Reglamentario 109/2007. *Actividades alcanzadas por los términos de la Ley 26.093. Autoridad de aplicación. Funciones. Comisión Nacional Asesora. Habilitación de plantas productoras. Régimen Promocional*. (31 de Agosto). http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/125000-129999/125179/norma.htm

Decunto, E. V. y Caballero, G. L. (2022). Proyectos de producción de biogás en la Región Pampeana y su contribución a los desafíos energéticos del Siglo XXI. Revista *Huellas*, Volumen 26, Nº 2, Instituto de Geografía, EdUNLPam: Santa Rosa. Recuperado a partir de: http://cerac.unlpam.edu.ar/ index.php/huellas

Díaz, A. (2019). *Diseño de una planta de producción de biogás.* Tesis. Universidad Nacional de Mar del Plata. Facultad de Ingeniería. Argentina.

García Páez, V. (2015). *Manual de biogás. Conceptos básicos. Beneficios de su producción y la aplicación de sus sub-productos*. Dirección de Sustentabilidad, Medio Ambiente y Cambio Climático, 9.

García K, I Huerga, V Charlón y A Cuatrin. (2009*). Estimación de producción de biogás a partir de la degradación anaeróbica de efluentes provenientes de instalaciones de ordeño*. Tercer Congreso Nacional-Segundo Congreso Iberoamericano Hidrógeno y Fuentes Sustentables de Energía (HYFUSEN 2009).

Haag, L. (2018). Conferencia: *Biogás y biomasa, una solución ambiental*. Sociedad Científica Argentina

Hilbert, J. (2003). *Manual para la producción de biogás*. Instituto de Ingeniería Rural, INTA Castelar, Morón, Argentina.

Hilbert, S. G. I. J. A., & Sheimberg, S. (2010). *Una planta de biogás en base de estiércol animal en mezcla de silaje forrajeras de maíz en el marco agropecuario argentino*.

Ley 27.640/2021, "marco regulatorio de Biocombustibles". (31 de agosto). https://www.boletinoficial.gob.ar/detalleAviso/primera/247667/20210804

Ley Nacional 26.093/2006. Régimen de Regulación y Promoción para la Producción y Uso Sustentables de Biocombustibles. Autoridad de aplicación. Funciones. Comisión Nacional Asesora. Habilitación de plantas productoras. Mezclado de Biocombustibles con Combustibles Fósiles. Sujetos beneficiarios del Régimen Promocional. Infracciones y sanciones. (31 de agosto). http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/115000-119999/116299/norma.htm

Magyp.gob.ar, *Informe anual de potencial de biogás - Tambos* (2021) https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/bioenergia/biogas/_archivos//000000_Informes%20anuales%20de%20potencial%20de%20biog%C3%A1s/210700_Informe%20anual%20de%20potencial%20de%20biog%C3%A1s%20-%20Tambos.pdf

Ministerio de Energía de la Nación (2018). Generación de Empleo: Energías Renovables. Programa RenovAr y MATER. Agosto 2018

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2019). *Guía técnico-regulatoria para la habilitación de plantas de biogás y homologación de artefactos y equipos para su uso.*

Tobares, L. (2013). *La importancia y el futuro del biogás en Argentina*. Petrotecnia, 68-74.

Vazquez, J. M. (2023). *Potencial aprovechamiento de residuos pecuarios para la producción de Biogás como aporte a la diversificación de la matriz energética y como acción de mitigación contra el cambio climático en el Departamento Confluencia, Provincia de Neuquén*. Tesis. Universidad Nacional del Comahue.