

**Escuela de Negocios**

**Tipo de documento:** Tesis de maestría



*EMBA | Executive MBA*

## **Estudio de mercado para el reciclaje de residuos y su valorización como biomasa**

**Autoría:** Muñoz, Diego

**Año:** 2025

### **¿Cómo citar este trabajo?**

Muñoz, D. (2025) "*Estudio de mercado para el reciclaje de residuos y su valorización como biomasa*". [Tesis de maestría. Universidad Torcuato Di Tella]. Repositorio Digital Universidad Torcuato Di Tella.

<https://repositorio.utdt.edu/handle/20.500.13098/13902>

El presente documento se encuentra alojado en el **Repositorio Digital de la Universidad Torcuato Di Tella** bajo una licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir Igual 4.0 Internacional  
**Dirección:** <https://repositorio.utdt.edu>



**ESTUDIO DE MERCADO PARA EL RECICLAJE DE RESIDUOS Y SU VALORIZACIÓN COMO  
BIOMASA**

**PLAN DE NEGOCIOS**

**Profesor: Andrés Borenstein**

**Tutor: Fabio Bergagna**

EMBA 2023

Autor:

Diego Muñoz

Plan de Negocios elaborado para la obtención del título de la Maestría en Administración de Negocios (MBA)  
de la Universidad Torcuato Di Tella  
Ciudad Autónoma de Buenos Aires  
Mes de diciembre de 2024

## PALABRAS CLAVE

Afrecho: subproducto de la industria arrocera que se obtiene en el proceso de pulido del arroz para consumo humano. Es un alimento nutritivo que aporta fibra, grasa, vitaminas y minerales. Se utiliza como forraje para alimentar al ganado bovino, pero también puede ser una alternativa para incluir en la dieta de ovinos.

Biodigestión: es un proceso biológico que transforma la materia orgánica en biogás y un efluente líquido. Se produce en un ambiente anaeróbico, es decir, sin oxígeno, y gracias a la acción de microorganismos como bacterias y hongos.

Biogás: es un combustible que se genera en medios naturales o en dispositivos específicos, por las reacciones de biodegradación de la materia orgánica, mediante la acción de microorganismos y otros factores, en ausencia de oxígeno (esto es, en un ambiente anaeróbico).

Cáscara de arroz: es un subproducto generado del proceso de molienda del grano de arroz proveniente de los campos de cultivo. Esta se encuentra en la parte exterior del grano de arroz maduro.

CH<sub>4</sub>: gas metano.

CHP: es el acrónimo de combined heat and power, que en español significa producción combinada de calor y electricidad. Se trata de un sistema que genera electricidad y calor utilizable a partir de una única fuente de energía, como gas natural o biocombustibles.

CO<sub>2</sub>: dióxido de carbono.

Codigestión: es un proceso que consiste en la digestión anaerobia de varios residuos orgánicos con características complementarias.

Cogeneración: es un proceso que produce energía eléctrica y térmica de manera simultánea en una sola planta, alimentada por una única fuente de energía. Esto permite ahorrar energía y obtener un mejor rendimiento energético que si se produjera con dos fuentes de producción separadas.

Digerido: es el material orgánico sólido y líquido, estabilizado, con un alto contenido de humedad y compuestos como el nitrógeno, fósforo y potasio que queda después de que los microorganismos descomponen los residuos orgánicos en un sistema cerrado sin oxígeno como subproducto de la biodigestión anaerobia de residuos orgánicos.

ENARSA: Energía Argentina S.A. es una empresa pública perteneciente al Gobierno de Argentina y encargada del sector petrolero y energético de dicho país.

Export parity: es el precio que un productor puede obtener o esperar obtener por su producto si lo exporta.

Feedlot: es un sistema intensivo de producción de carne donde el ganado es confinado en corrales y alimentado con dietas balanceadas a base de maíz, soja y otros suplementos para lograr un engorde rápido. En términos sencillos, el sistema feedlot encierra el ganado en corrales para proporcionarles una dieta de alta concentración energética y alta digestibilidad, para que engorden intensivamente durante un corto período de tiempo.

GLP: abreviatura de gas licuado de petróleo, un combustible que se obtiene al refinar el petróleo o separar el gas natural y se obtiene una mezcla de gases de propano y butano.

GNC: es la sigla de gas natural comprimido, un combustible gaseoso que se almacena a alta presión y temperatura ambiente. Se compone principalmente de metano, pero también contiene dióxido de carbono, nitrógeno e hidrocarburos.

GNL: es gas natural que se ha convertido en líquido a través de un proceso de purificación y enfriamiento.

GUDI: son las siglas de Grandes Usuarios de la Distribuidora, un tipo de usuario en el Mercado Eléctrico Mayorista (MEM). Los GUDI son usuarios que compran su abastecimiento de energía a través de la distribuidora. La potencia mínima demandada por un GUDI es de 300 kW.

Kcal: es la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de un gramo de agua en un grado Celsius.

MMBtu: es la Unidad Térmica Británica equivalente a la cantidad de calor requerida para elevar la temperatura de una libra (1 lb) de agua pura desde cincuenta y ocho grados Fahrenheit y cinco décimos (58,5 °F) hasta cincuenta y nueve grados Fahrenheit y cinco décimos (59,5 °F), a una presión absoluta de catorce libras con setenta y tres centésimos por pulgada cuadrada (14,73 psia).

MMm<sup>3</sup>/d: millones de metros cúbicos diarios.

Monómico: es el costo representativo de producción de energía eléctrica en el Mercado Eléctrico Mayorista (MEM), y es cociente entre la sumatoria de los costos de generación (y asociados) y la

demanda abastecida en dicho mercado. El precio monómico varía según el consumo de gas y combustibles líquidos, la disponibilidad de recursos, la hidrología y las temperaturas del país.

Mont Belvieu: es el mercado de referencia para la fijación de precios de GLP de los mercados norteamericanos y mundiales.

MW: es el símbolo de megavatio, una unidad de potencia que equivale a un millón de vatios.

MWh: son las siglas de megavatio-hora, una unidad de medida que se utiliza para cuantificar la cantidad de electricidad que se genera o consume en un período de una hora.

NC: se refiere al no convencional y son reservas de petróleo y gas natural que no pueden ser extraídas de manera rentable con las técnicas de perforación tradicionales. Esto se debe a su ubicación, tipo de yacimiento, características físicas y a que se encuentran atrapados en rocas o sustancias cristalinas de baja permeabilidad y porosidad.

NEA: es la sigla correspondiente a la zona del noreste argentino.

NOx: compuestos nitrogenados.

Offshore: en la industria de hidrocarburos se refiere a la exploración y producción de petróleo y gas que se realiza en el mar.

Producto Bruto Agropecuario Nacional: es un indicador macroeconómico que mide la producción de bienes y servicios agropecuarios de un país en un periodo de tiempo determinado. Se incluye a las cadenas agroindustriales, que son los eslabones que intervienen en la producción, transporte, industrialización, comercialización y exportación de alimentos y otros productos agropecuarios.

Programa RenovAr: es un programa argentino que abastece de energía eléctrica a partir de fuentes renovables. El programa fue lanzado en 2016 y es el principal instrumento para cumplir con la Ley N° 27.191.

Rastrojo: es el conjunto de restos de tallos y hojas que quedan en el terreno tras cortar un cultivo.

Relación C/N: es una medida que indica la proporción de carbono y nitrógeno en una sustancia. Se utiliza para evaluar la calidad del suelo y la disponibilidad de nitrógeno, un nutriente importante para el desarrollo de la vida. La relación C/N se puede expresar como un valor numérico, por ejemplo, 10:1, que significa que hay 10 unidades de carbono por cada unidad de nitrógeno. La relación C/N es un parámetro relevante en los estudios de fertilidad del suelo, ya que el carbono y el nitrógeno son elementos esenciales para el desarrollo de la vida. El carbono es un componente energético que

forma parte de la estructura de las plantas y microorganismos, mientras que el nitrógeno apoya la síntesis de proteínas.

Shale: es una formación sedimentaria de roca de esquisto que contiene hidrocarburos como petróleo y gas. Se trata de una roca impermeable que se formó a partir de los lechos de mares y lagos.

Trilla: es la actividad y su resultado, que se hace con los cereales para retirar el grano de la paja.

YPFB: es la sigla de Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos. Se trata de una empresa estatal boliviana que se dedica a la venta de derivados de petróleo y gas, a la prestación de servicios, a los alquileres y a otras actividades comerciales.

## LISTADO DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Producción promedio anual por cuenca en MMm3/d.

Gráfico 2: Producción promedio anual agregada por cuencas relevantes en MMm3/d.

Gráfico 3: Producción de gas natural por tipo de recurso en MMm3/d.

Gráfico 4: Importaciones desde Bolivia promedio anual en Mmm3/d.

Gráfico 5: Importaciones como GNL desde Escobar y Bahía Blanca promedio anual en MMm3/d.

Gráfico 6: Precios históricos GLP industrial mercado argentino en USD/MMBtu.

Gráfico 7: Precios futuros GLP mercado internacional en USD/MMBtu.

Gráfico 8: Precios históricos monómico y que abonan los GUDI por la energía eléctrica en el mercado argentino en USD/MWh.

Gráfico 9: Evolución de los costos de generación, precio estacional trasladado y % de cobertura.

Gráfico 10: Precio monómico por componente.

Gráfico 11: Superficie sembrada por provincia y su porcentaje sobre el total.

Gráfico 12: Evolución de las cabezas de ganado en feedlot en Argentina, en millones de cabezas.

Gráfico 13: Evolución del consumo de carne por habitante por año en Argentina.

Gráfico 14: Destino del digerido sin separación, del digerido líquido y del digerido sólido.

Gráfico 15: Producción de biogás en función de la temperatura.

Gráfico 16: Cantidad de establecimientos de feedlots totales por provincia.

Gráfico 17: Distribución geográfica de las principales plantas de biogás en Argentina.

Gráfico 18: Origen del sustrato principal de las plantas de biogás.

Gráfico 19: Sustratos y cosustratos más utilizados en las plantas de biogás.

## LISTADO DE IMÁGENES

Imagen 1: Red de transporte de gas natural en Argentina y países limítrofes.

Imagen 2: Localidades abastecidas con gas natural distribuido por redes en zona TGN.

Imagen 3: Referencias para las localidades abastecidas con gas natural distribuido por redes en zona TGN.

Imagen 4: Gasoductos del Noreste argentino (GNEA) y Paraná-Uruguayana.

Imagen 5: Sistema de Transporte y Distribución de gas natural de la provincia de Corrientes.

Imagen 6: Yvoty Ganadera S.A., ubicación en cercanías de Berón de Astrada, Corrientes.

Imagen 7: Mercado de GLP zona NEA.

Imagen 8: Cobertura del costo de sistema por usuario durante sep-24.

Imagen 9: Distribución geográfica en función de la intensidad de hectáreas destinadas al cultivo de arroz declaradas por departamentos de cada provincia (en porcentaje).

Imagen 10: Distribución geográfica de la densidad de cabezas de ganado (cabezas/hectáreas).

Imagen 11: Distribución geográfica de cabezas de ganado en actividad primaria e industrial.

Imagen 12: Esquema de reacciones de la digestión anaeróbica de materiales orgánicos poliméricos.

Imagen 13: Vista de una planta típica de biogás.

Imagen 14: Principio de funcionamiento de una planta de biogás.

Imagen 15: Clasificación de los reactores anaeróbicos.

Imagen 16: Distribución del potencial de biogás a partir de biomasa residual de feedlots.

Imagen 17: Proyectos adjudicados para la tecnología biogás dentro del Programa RenovAr en todas sus rondas.

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 1: Exportaciones 2023 por tipo de arroz.

Tabla 2: Exportaciones totales de carne vacuna en 2023.

Tabla 3: Composición química de mezclas gaseosas combustibles.

Tabla 4: Composición química de diversos residuos de origen animal y vegetal (valores promedio en base seca).

Tabla 5: Rango de niveles de nutrientes en diversos residuos de origen animal y vegetal.

Tabla 6: Producción de biogás por tipo de residuo animal.

Tabla 7: Rangos de temperatura y tiempo de fermentación anaeróbica.

Tabla 8: Origen de residuos orgánicos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Portal Secretaría de Energía de Argentina.
- Portal ENARGAS.
- <https://portalenergetico.org/es/oil-gas-map/>
- Informe sectorial septiembre 2024 – UDEA y ADEERA.
- Portal CAMESA.
- [www.argentina.gob.ar/sites/default/files/informe-sisa-arroz-2023-2024.pdf](http://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/informe-sisa-arroz-2023-2024.pdf)
- Portal Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca de Argentina.
- [https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/bovinos/informacion\\_interes/informes/\\_archivos//00001=Series%20de%20stock%20bovino%20y%20mapas/000000\\_Mapas/000000\\_Ganado%20bovino.pdf](https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/bovinos/informacion_interes/informes/_archivos//00001=Series%20de%20stock%20bovino%20y%20mapas/000000_Mapas/000000_Ganado%20bovino.pdf)
- Portal Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA).
- Portal Bolsa de Comercio de Rosario.
- Curso Red ReBiBir (T) 2021- UNIDAD 4 25 03 2021 – Universidad Federal de Itajubá – Conversión energética de la biomasa – Unidad 4: Conversión bioquímica de la biomasa, biodigestión y biodiesel, fermentación, biorrefinerías.
- Manual de biogás MINENERGIA, Santiago de Chile 2011.
- Curso: Conversión energética de la biomasa. Unidad 4: Conversión bioquímica de la biomasa, biodigestión y biodiesel, fermentación, biorrefinería. Red ReBiBir.
- Feedlot - Alimentación, diseño y montaje. Aníbal J. Pordomingo. EEA “Guillermo Covas” INTA Anguil Facultad de Ciencias Veterinarias UNLPam 2013.
- Portal Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

## SUMARIO EJECUTIVO

En Argentina, el suministro de gas natural depende tanto de la producción local como de importaciones. Sin embargo, la red de gasoductos no llega a todas las regiones del país y, en particular, el NEA no cuenta con acceso a gas natural. A pesar de proyectos previos como el Gasoducto del Noreste Argentino (GNEA), no existen inversiones planificadas a mediano plazo para extender la red, lo que consolida al GLP como la principal fuente de energía en la región. Esta situación refuerza la competitividad del biogás como una alternativa sostenible y económicamente viable.

La provincia de Corrientes tiene una fuerte actividad agroindustrial, con la producción de arroz y ganado vacuno como sectores estratégicos. El proceso productivo del arroz genera residuos como la paja y el afrecho, que hoy en día tienen un aprovechamiento limitado. A su vez, la actividad ganadera genera residuos orgánicos con un alto potencial para la producción de biogás. Este estudio identifica que una integración entre ambos sectores permitiría utilizar los subproductos del arroz como alimento para el ganado en corrales y, a partir de sus heces, producir biogás mediante biodigestión anaeróbica.

El biogás generado puede reemplazar al GLP en el proceso de secado del arroz, reduciendo costos energéticos y la volatilidad de precios asociada a los combustibles fósiles. Además, fuera de la temporada de cosecha, este recurso puede convertirse en energía eléctrica y utilizarse en otros procesos industriales, como la molienda del arroz, aumentando la rentabilidad del sistema. El proceso de conversión de los residuos en biogás y su posterior aprovechamiento energético, el potencial de la biomasa y la valorización de residuos, mediante la tecnología de biodigestión anaeróbica, motiva un estudio económico y financiero para evaluar el proyecto de inversión. La investigación abarca el mercado energético, el sector agroganadero y la valorización de residuos, evaluando la factibilidad técnica y económica de la implementación de una planta de biogás en la región.

El aprovechamiento de los residuos del arroz y la actividad ganadera para la generación de biogás representa una oportunidad estratégica para mejorar la competitividad del sector arrocerero en Corrientes, reducir costos energéticos y avanzar hacia un modelo productivo más sustentable y eficiente.

## TABLA DE CONTENIDOS

### Contenido

1. MERCADO ENERGÉTICO: GAS NATURAL, GAS LICUADO DE PETRÓLEO Y ENERGÍA ELÉCTRICA.....	13
1.1. Suministro de gas natural en Argentina: producción local e importaciones.....	13
1.2. Red de gasoductos de transporte y distribución de gas natural. ....	18
1.3. Gasoducto del Noreste Argentino (GNEA) y Gasoducto Paraná-Uruguayana: historia, situación actual y proyección. ....	21
1.4. Suministro de GLP en Argentina. ....	25
1.5. Precios y demanda de GLP: históricos y futuros. ....	28
1.6. Precios de energía eléctrica.....	29
2. MERCADO AGROGANADERO: ARROZ, GANADO VACUNO Y GENERACIÓN DE RESIDUOS.....	33
2.1. Producción de arroz en Argentina.....	33
2.2. Procesos productivos en la industria arrocera. ....	34
2.3. Demanda local y exportación de arroz y en sus diferentes variedades. ....	35
2.4. Generación y problemática de los residuos arroceros. ....	35
2.5. Producción de ganado vacuno en Argentina y en Corrientes.....	36
2.6. Procesos productivos en la industria vacuna. ....	37
2.7. Mercado del feedlot. ....	39
2.8. Demanda local y exportación de derivados vacunos.....	40
2.9. Generación y problemática de los residuos vacunos. ....	42
3. BIOMASA Y VALORIZACIÓN DE RESIDUOS .....	43
3.1. Procesos de la biomasa.....	43
3.2. Proceso de biodigestión, aprovechamiento del biogás y del digerido. ....	44
3.3. Plantas de producción de biogás, selección de sustratos y tecnologías. ....	52
3.4. Beneficios de la valorización de residuos orgánicos: industria arrocera y vacuna. ....	55
3.5. Producción a escala industrial en Argentina.....	56
3.6. Consideraciones para la aplicación agrícola del digerido.....	63

4. CONCLUSIONES.....65

# 1. MERCADO ENERGÉTICO: GAS NATURAL, GAS LICUADO DE PETRÓLEO Y ENERGÍA ELÉCTRICA

## 1.1. Suministro de gas natural en Argentina: producción local e importaciones.

La Argentina posee cinco cuencas productivas de hidrocarburos: Noroeste, Cuyana, Neuquina, Golfo San Jorge y Austral. La producción local ha sido afectada y se ha visto influenciada por diversas situaciones, lo que ha incentivado y afectado la intensidad sobre la inversión local, entre ellas algunas de las siguientes: precios internacionales del crudo, incentivos para la demanda por parte de los gobiernos mediante planes a la estimulación para la producción de gas natural, crisis económicas e inestabilidades macroeconómicas, autorizaciones para girar dividendos al exterior para las compañías privadas. En el siguiente gráfico podemos observar cómo la producción de gas natural desde el año 1999 y hasta la actualidad se ha visto afectada, en parte, por algunas de las variables mencionadas.

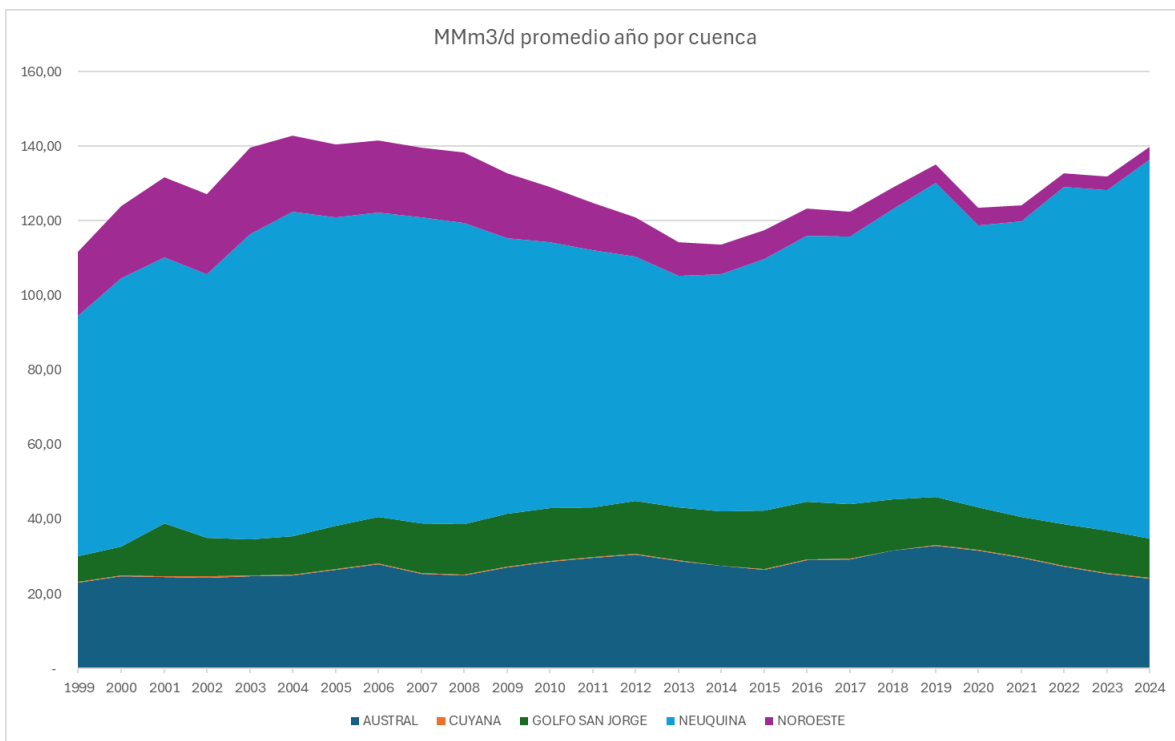


Gráfico 1: Producción promedio anual por cuenca en MMm3/d.<sup>1</sup>

Cabe destacar que las principales cuencas han sido la Neuquina, Austral y Noroeste. La cuenca Cuyana se considera despreciable en cuanto a la producción de gas natural y la Cuenca del Golfo San Jorge, si bien ha tenido cierta preponderancia a lo largo de los años, siempre se la ha considerado como una cuenca más vinculada a la producción de crudo. La cuenca Neuquina ha sido más que relevante hasta los años 2016-2017, aproximadamente, respecto de la producción convencional. Se podría considerar que a partir de la Resolución 46/2017 se le ha dado un estímulo atractivo a la producción no convencional, lo que ha generado el inicio de la explotación de Vaca Muerta. A partir de ese momento, la producción de gas natural local se ha visto beneficiada y estimulada y fue un hito

<sup>1</sup> Elaboración propia en base a datos de Secretaría de Energía de <https://www.argentina.gob.ar/economia/energia/hidrocarburos/produccion-de-petroleo-y-gas>

a partir del cual el gas natural ha tomado mayor preponderancia y relevancia para la economía argentina. En el siguiente gráfico podemos observar cómo la producción desde la cuenca del Noroeste ha declinado fuertemente a razón de 6% promedio anual durante los últimos 25 años, acrecentándose a partir del 2009 a un ritmo del 10% promedio anual. Esto se explica por una falta de atractivo de inversiones por parte de los productores debido al mayor costo frente a otras oportunidades como la cuenca Neuquina y la Austral. La participación de la cuenca del Noroeste sobre el total de la oferta local pasó del 18% promedio anual durante la primera década del siglo XXI a apenas un 6% promedio anual durante los últimos 15 años, siendo de apenas el 3% para los últimos tres años sobre el total de la oferta local. A pesar de su potencial, sus características geológicas son algo más complejas para explorar y desarrollar frente a las otras cuencas, lo que conlleva mayores costos y riesgos para las empresas que eligen dónde invertir su capital. La competencia con Vaca Muerta, en donde las reservas y el conocimiento del recurso ya era más conocido, ha relegado potenciales inversiones dentro de la cuenca Noroeste.

En cuanto a la cuenca Austral, ha resultado la más estable durante los últimos 25 años, siendo una especie de oferta base que ha permitido tener un bloque firme de oferta de gas natural. Esta cuenca tiene una preponderancia en cuanto al origen *offshore* de los recursos, representando un 36% promedio anual de la oferta total local. A partir del 2021 su declinación ha impactado fuertemente sobre la oferta, lo cual, entre otras variables, ha aportado cierta tensión sobre el sistema gasífero, el cual se ha visto algo estresado durante los últimos tres años. Si bien su declinación fue de un 3% promedio anual durante los últimos 3 años, dicha situación se ha hecho sentir considerablemente, ya que su aporte de base estable resulta vital. Afortunadamente, se estima que a partir de oct-24, con el inicio del proyecto Fénix, la cuenca Austral retomarí su aporte estable de aproximadamente 30 MMm3/d.

Por último, la cuenca Neuquina resulta la más fluctuante durante los últimos 25 años, siendo la de mayor preponderancia frente al aporte sobre el total de la producción local. El boom del no convencional proveniente desde Vaca Muerta ha permitido desarrollar a esta cuenca con intensas y continuas inversiones para poder mantener el ritmo de la producción. Dicha situación se debe al desarrollo del *shale* gas desde la cuenca Neuquina a partir del año 2017. Por otro lado, esta cuenca se ha visto afectada, a nivel inversiones y producción asociada, con los sucesivos “Plan Gas”, los cuales se resumen brevemente:

- Plan Gas I: desarrollo de no convencional para empresas grandes para aumentar producción y reservas (exploración). Se logró aumentar la producción desde 2014 y hasta 2017.
- Plan Gas II: para empresas chicas que no entraron al Plan Gas I. Desde 2014 hasta 2017.
- Plan Gas III: Res 46. Para cuenca NQN únicamente por ya tener NC (no convencionales) desarrollados y acuerdos laborales cerrados para esta explotación. Se logró aumentar la producción desde 2017 y hasta 2021.

- Plan Gas IV: para mantener la producción. Tanto convencional como NC y *offshore*. Ronda 1 desde 2020 y hasta 2024. Ronda 2 desde 2025 y hasta 2028.

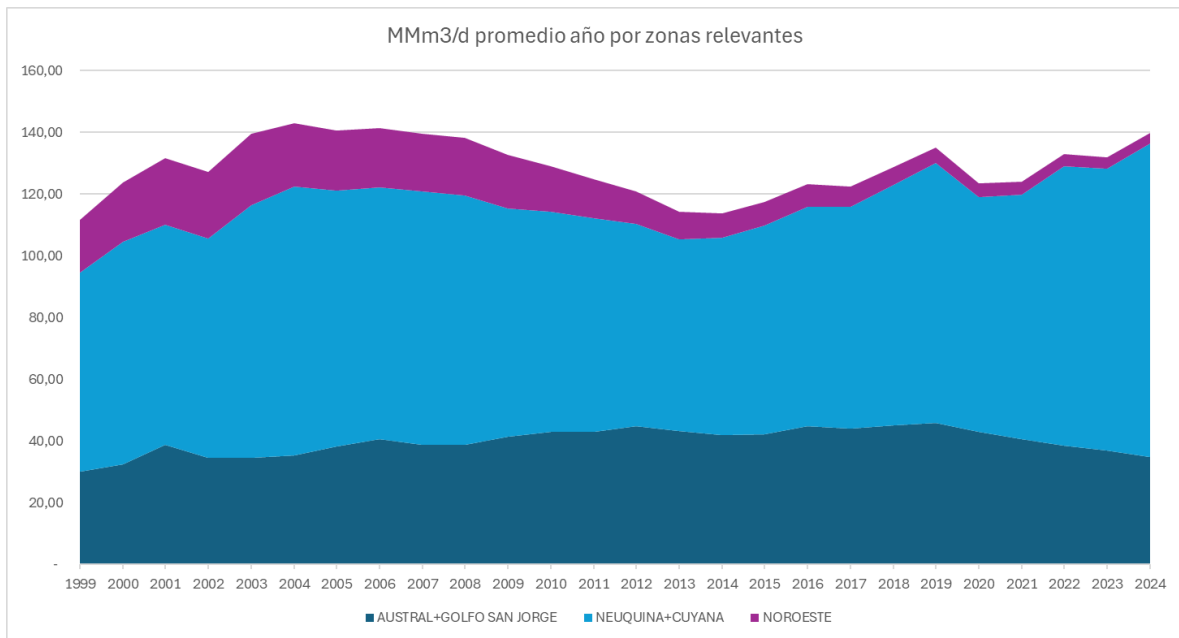


Gráfico 2: Producción promedio anual agregada por cuencas relevantes en MMm3/d.<sup>2</sup>

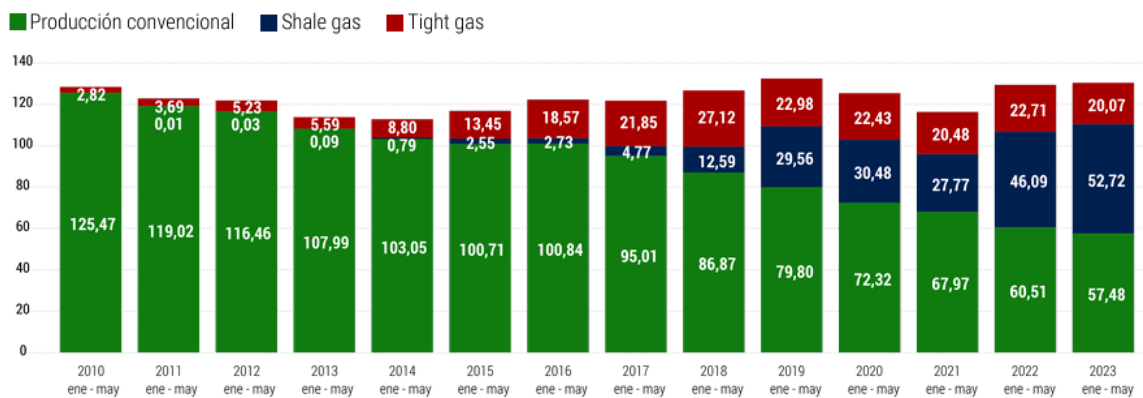


Gráfico 3: Producción de gas natural por tipo de recurso en MMm3/d.<sup>3</sup>

En cuanto a las importaciones, Argentina ha presentado tres vías de ingreso de gas natural al país: por gasoducto desde Bolivia y a través de las terminales de regasificación ubicadas en Escobar y en Bahía Blanca. El inicio del contrato de importación de gas natural desde Bolivia data del año 2006 en donde se firma un acuerdo entre ambas naciones para importar a través del gasoducto GASBOL por los siguientes 20 años por unos 27 MMm3/d con una fórmula para la actualización del precio a partir del cálculo trimestral del precio internacional de una canasta compuesta por tres tipos distintos de fuel oil y un tipo de diésel. Bolivia presentaba problemas políticos y una ralentización en las inversiones privadas tras la nacionalización de los hidrocarburos, lo cual impidió al gobierno boliviano cumplir

<sup>2</sup> Elaboración propia en base a datos de Secretaría de Energía Y ENARGAS de <https://www.argentina.gob.ar/economia/energia/hidrocarburos/produccion-de-petroleo-y-gas>

<sup>3</sup> [https://www.enargas.gob.ar/secciones/publicaciones/divulgacion-tecnica/pdf//informe\\_1483.pdf](https://www.enargas.gob.ar/secciones/publicaciones/divulgacion-tecnica/pdf//informe_1483.pdf)

con los volúmenes pactados, y quien debió priorizar las entregas al mercado brasileño. Durante 2008 Bolivia incumplió sus compromisos con el mercado argentino, por lo cual la Argentina debió incursionar en la importación de GNL, más oneroso que el gas natural boliviano, a través de las dos terminales de regasificación en Escobar y Bahía Blanca. Durante el 2010 ambos gobiernos firmaron la primera adenda al contrato del 2006 que estableció un incremento de las entregas de 5 a 7 MMm<sup>3</sup>/de ese año y un salto a 18MMm<sup>3</sup>/d en 2013 para llegar a los proyectados 27 MMm<sup>3</sup>/d en 2021. Para ello, se acordó ampliar la capacidad de transporte por medio de la construcción del Gasoducto de Integración Juana Azurduy (GIJA) para unir Yacuiba y Campo Durán a lo largo de 48 kilómetros (13 en territorio boliviano y 35 del lado argentino). Durante el 2012 se firmó un contrato adicional interrumpible de compra y venta de gas natural, que permitió a las partes ampliar los volúmenes comercializados en 2,7 y 3,3 MMm<sup>3</sup>/d para el año 2012 y para el período 2013-2026, respectivamente. YPFB incrementó progresivamente el volumen entregado desde el mínimo de 2008, llegando a exportar 16,3 MMm<sup>3</sup>/d en 2015. Los volúmenes exportados crecieron 257% entre 2006 y 2015 (incluso 521% desde 2008), lo que implicó que se incrementara considerablemente la dependencia argentina del gas boliviano, que pasó a representar en 2014 el 6,3% de la oferta total interna. En 2016 Bolivia no estaba en condiciones de entregar los 19,9 MMm<sup>3</sup>/d que establece el contrato y, a cambio, solo había ofrecido 15,4 MMm<sup>3</sup>/d para el primer semestre de ese año y 19 MMm<sup>3</sup>/d. Durante 2019 ambos países firmaron una nueva adenda del contrato de 2006. En la misma se estableció un esquema diferente de precios y cantidades, con mayor estacionalidad en las entregas para el período 2019-2020. Se estableció que durante los meses de mayor demanda del mercado argentino (junio, julio y agosto), YPFB entregue 18 MMm<sup>3</sup>/d y en los meses de verano reduzca a 11 MMm<sup>3</sup>/d. Durante el 2020 se firmó una nueva adenda con una duración de un año en donde los volúmenes a ser entregados durante el 2021 serían un 20% menores a los enviados durante el 2020. Desde ese momento y hasta la actualidad los volúmenes y precios se han visto continuamente afectados, con volúmenes a la baja y precios al alza. Finalmente se estima que durante lo que resta del 2024 y parte del 2025, Bolivia dejaría de entregar volúmenes de gas natural hacia la Argentina.

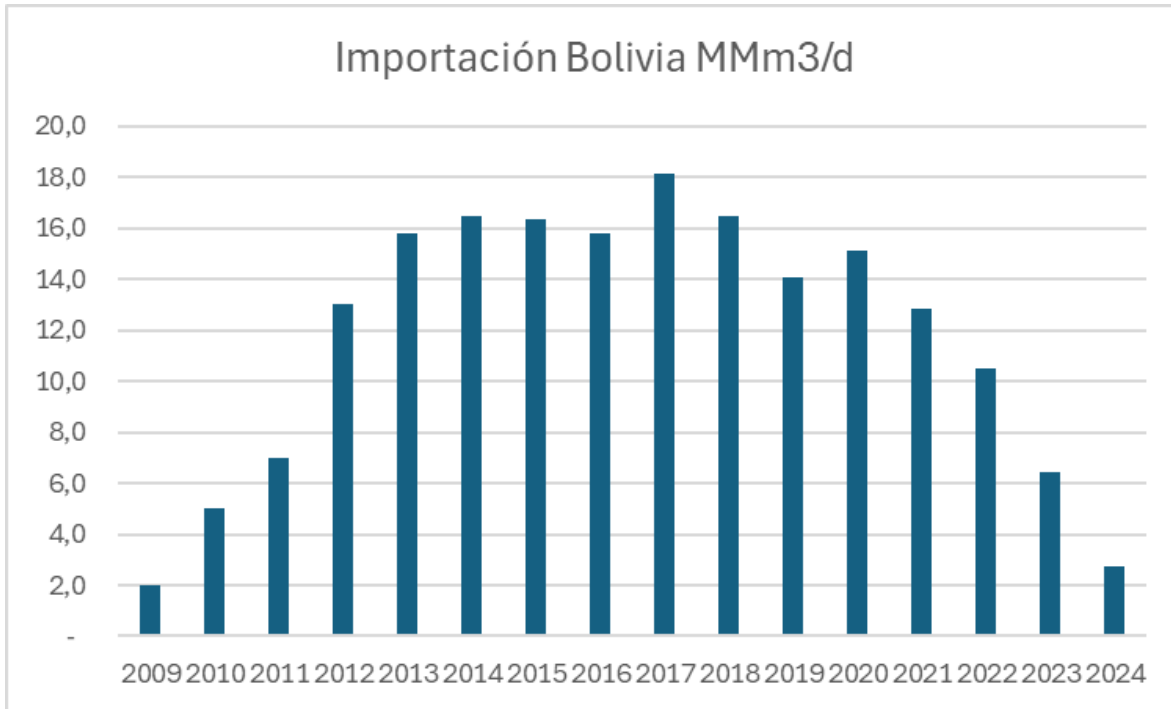


Gráfico 4: Importaciones desde Bolivia promedio anual en Mmm3/d.<sup>4</sup>

La Argentina prescindió de la importación de GNL desde Bahía Blanca luego del 2018 y hasta la actualidad se mantiene la regasificación desde la terminal de Escobar. Durante los últimos seis años Argentina retomó su actividad exportadora de gas natural hacia Chile y ha logrado avanzar en infraestructura necesaria para evacuar la producción desde Vaca Muerta. Desde el 2022 Argentina ha logrado mantener las exportaciones hacia Chile durante todo el año, inclusive durante el período invernal. Si bien quedan algunos pasos por dar, a partir del verano 2024 Argentina podrá ir sustituyendo progresivamente el abastecimiento boliviano con gas natural proveniente desde Vaca Muerta gracias a la reversión del gasoducto del Norte.

<sup>4</sup> Elaboración propia en base a <https://www.enargas.gob.ar/secciones/transporte-y-distribucion/partes-diarios-exp-imp-consulta.php?tipo=importaciones> y recopilación de datos.

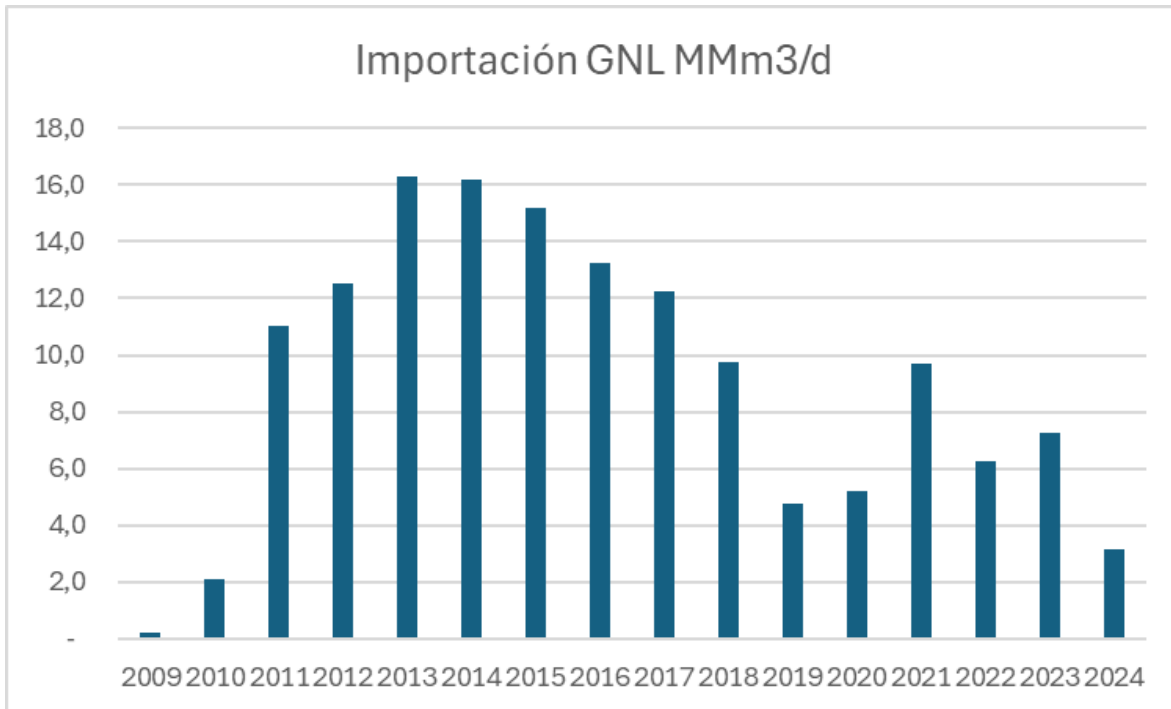


Gráfico 5: Importaciones como GNL desde Escobar y Bahía Blanca promedio anual en MMm3/d.<sup>5</sup>

## 1.2. Red de gasoductos de transporte y distribución de gas natural.

La red troncal de transporte de gas natural argentina conecta las cuencas productivas con los centros de consumo. Desde la Cuenca Austral el gasoducto San Martín transporta el gas natural desde la provincia de Tierra del Fuego, sumando la producción de la Cuenca del Golfo San Jorge hasta llegar a la región de Buenos Aires, recorriendo más de dos mil kilómetros. El gasoducto Neuba I nace en la cuenca Neuquina hasta la localidad de Bahía Blanca. El gasoducto Neuba II también conecta los yacimientos desde la cuenca Neuquina con Bahía Blanca para terminar en la zona de Buenos Aires, su trayecto es más extenso que el anterior y su capacidad es mayor. El gasoducto Centro Oeste también nace en la Cuenca Neuquina y la conecta con la zona del Litoral, en donde se unifica con el gasoducto Norte para llegar a la zona de Buenos Aires desde el norte de la provincia. El gasoducto del Norte se estaba utilizando como transporte de gas natural hasta octubre de 2024, y a partir de dicho mes el sentido de flujo se revierte para poder llevar gas desde Vaca Muerta hacia las provincias del Centro y del Norte del país. El gasoducto Néstor Kirchner conecta la zona de Tratayén en Neuquén con Salliqueló en Buenos Aires. Este último gasoducto fue construido e inaugurado durante el 2023 con el fin de poder evacuar la ingente producción no convencional proveniente desde Vaca Muerta y poder darle mayor previsibilidad de evacuación a dicha zona. De esta manera, poder reemplazar importaciones de GNL y ser el puntapié inicial para poder alcanzar nuevos mercados regionales de exportación hacia Brasil. Todos los gasoductos troncales indicados se conectan aguas abajo con las redes de distribución zonales, quienes se encargan de distribuir el gas natural hacia los consumidores finales (residenciales, comerciales, industriales, GNC y generadores eléctricos).

<sup>5</sup> Elaboración propia en base a <https://www.enargas.gob.ar/secciones/transporte-y-distribucion/partes-diarios-exp-imp-consulta.php?tipo=importaciones> y recopilación de datos.



Imagen 1: Red de transporte de gas natural en Argentina y países limítrofes.<sup>6</sup>

La concesión de distribución en la zona del Noreste argentino la posee la distribuidora GasNEA. La región para operar de manera exclusiva abarca las provincias de Entre Ríos, Corrientes, Chaco, Formosa y Misiones. Si bien abarca cinco provincias, la infraestructura disponible sólo permite que

<sup>6</sup><https://portalenergetico.org/es/oil-gas-map/>

el gas natural alcance a la provincia de Entre Ríos, dejando a las restantes desconectadas y aisladas de la potencial provisión de gas natural. La zona de Corrientes, y en particular la de Berón de Astrada se encuentra actualmente sin disponibilidad de provisión de gas natural. Es por ello por lo que los consumidores deben limitar su abastecimiento al GLP, la leña, el carbón y la energía eléctrica para poder contar con suministro energético.

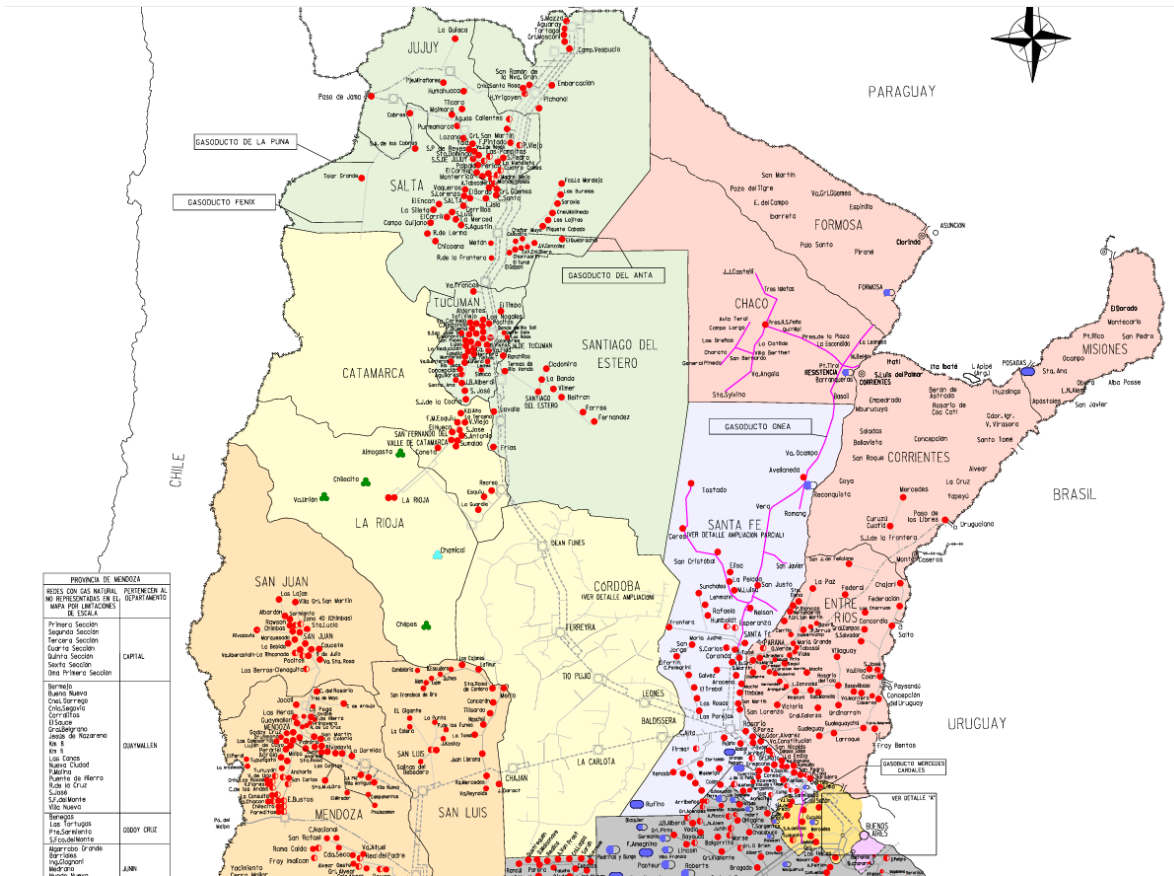


Imagen 2: Localidades abastecidas con gas natural distribuido por redes en zona TGN.<sup>7</sup>



<sup>7</sup><https://www.enargas.gov.ar/secciones/informacion-geografica/Mapas/LocalidadesAbastecidas/LocAba.pdf>

Imagen 3: Referencias para las localidades abastecidas con gas natural distribuido por redes en zona TGN.<sup>8</sup>

### **1.3. Gasoducto del Noreste Argentino (GNEA) y Gasoducto Paraná-Uruguayana: historia, situación actual y proyección.**

Partiendo de un cruce con el Gasoducto Juana Azurduy en Campo Durán (provincia de Salta) , el gasoducto GNEA fue originalmente proyectado para correr hacia el sudeste a través de las provincias de Salta y Formosa hasta la ciudad de Formosa, luego girar hacia el sur para seguir paralelo a la ruta nacional 11 de Argentina, pasando por Resistencia en la provincia de Chaco, haciendo un breve recorrido hacia el suroeste entre Reconquista y Vera (provincia de Santa Fe), y finalmente reanudando su trayectoria hacia el sur hasta Santo Tomé en la provincia de Santa Fe. El tramo del sur (que corre en sentido Sur-Norte) es operado por TGN y tiene una capacidad instalada de 11.2 MMm<sup>3</sup>/d, recorriendo un total de 694 km. Si bien se encuentra en funcionamiento no posee demanda sustancial instalada para ser abastecida. De hecho, en algún momento se ha pensado en ser utilizado como “tanque de almacenamiento” de GN para tener back up durante el período invernal. El tramo norte (que corre en sentido Oeste-Este) sería operado por ENARSA con una capacidad propuesta de otros 11.2 MMm<sup>3</sup>/d, recorriendo un total de 813 km. Se encuentra en fase de construcción y no se prevé una fecha de finalización ni interés por ponerlo en funcionamiento comercial.

El Gasoducto del Noreste Argentino fue diseñado originalmente para transportar gas natural desde Bolivia hasta el noreste de Argentina. El proyecto se anunció en 2003, y se programó que la construcción comenzaría en 2007, y que el gasoducto entraría en funcionamiento en 2010. Durante la siguiente década y media, el proyecto GNEA se vio afectado por repetidos retrasos y sobrecostos, y el gasoducto permaneció solo parcialmente terminado a junio de 2022. La construcción del ducto finalmente comenzó en febrero de 2015. En mayo de 2017 se informó que ENARSA terminaría la construcción de los últimos 100 km del ducto, que abarca la frontera entre las provincias de Salta y Formosa, en diciembre de 2017 o enero de 2018. Al mismo tiempo, el presidente de ENARSA declaró que la compañía no podía garantizar la operación del ducto en el futuro debido a la demanda insuficiente en las provincias de Formosa y Chaco. En septiembre de 2017, se informó que la construcción del ducto estaba completa en un 90%. En septiembre de 2018, el gobierno argentino anunció que el alcance del gasoducto se había reducido para incluir solo el segmento sur que va desde Santo Tomé (provincia de Santa Fe) hasta el río Bermejo (provincia de Chaco). Entre las razones declaradas por el gobierno para reducir el alcance del proyecto se encontraban las irregularidades financieras que ocurrieron durante el periodo 2011-2014 y la posibilidad de abastecerse de gas desde el yacimiento argentino de Vaca Muerta, lo que reduciría la necesidad de importar gas desde Bolivia. En julio de 2019 se informó que el segmento sur del gasoducto comenzaría a operar en septiembre de 2019, luego de que el gobierno argentino le otorgara a TGN los derechos para operar y mantener los tramos completados del gasoducto en las provincias de Santa Fe y Chaco por un período de 10 años; el costo de construcción del gasoducto se informó en US\$2.300 millones, casi el doble de las estimaciones iniciales. En octubre de 2019, se anunció que

---

<sup>8</sup><https://www.enargas.gob.ar/secciones/informacion-geografica/Mapas/LocalidadesAbastecidas/LocAba.pdf>

el gasoducto había comenzado a abastecer a 3.000 hogares en San Cristóbal, provincia de Santa Fe, y que estaba previsto conectar otras 25 comunidades de la provincia.



Imagen 4: Gasoductos del Noreste argentino (GNEA) y Paraná-Uruguayana.<sup>9</sup>

Durante el 2020 hubo intentos por fomentar el desarrollo del tramo norte, pero sin éxito. En febrero de 2022, la Secretaría de Energía de Argentina anunció que el gobierno convocaría una licitación para completar los 100 km restantes del gasoducto a lo largo de la frontera entre las provincias de Salta y Formosa. En julio de 2022, los trabajadores soldaron dos tramos de cañería en la comunidad de General Mansilla, en el límite entre las provincias de Chaco y Formosa, allanando el camino para que el gas fluya desde el segmento sur del sistema GNEA hacia el segmento norte. Inicialmente, se esperaba que el transporte de gas en el segmento norte se limitaría a los 100 km de ducto entre el Río Bermejo (límite provincial) y la ciudad capital de Formosa. En julio de 2024, el sitio web de ENARSA indicó que un segmento del ducto GNEA en la provincia de Formosa se había puesto en servicio en 2024. Sin embargo, no estaba claro qué sección exacta del ducto estaba operativa y en qué fecha se había puesto en servicio; mientras tanto, la edición de 2024 del mapa oficial de ductos del gobierno argentino no mostraba ningún segmento operativo del GNEA en la provincia de Formosa. En junio de 2024, ENARSA lanzó una licitación pública para el derecho de operación y mantenimiento de la GNEA

<sup>9</sup> <https://portalenergetico.org/es/oil-gas-map/>

dentro de la provincia de Formosa, desde el límite provincial Formosa-Salta hasta el límite provincial Formosa-Chaco.

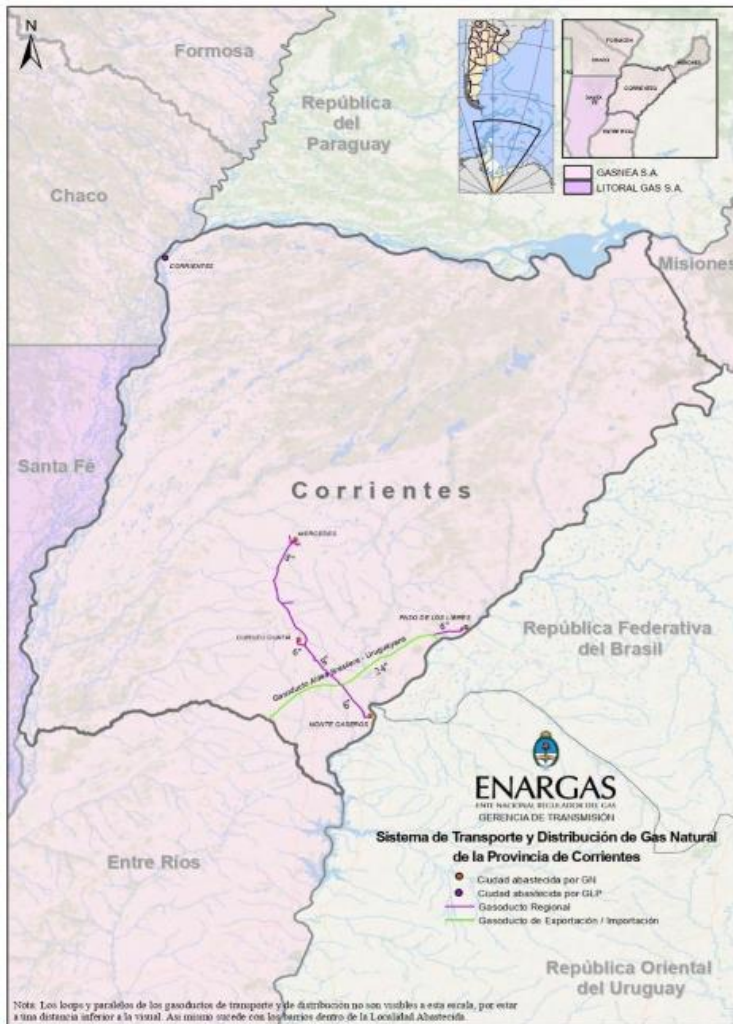


Imagen 5: Sistema de Transporte y Distribución de gas natural de la provincia de Corrientes.<sup>10</sup>

En junio de 2024, se informó que el gobierno argentino estaba estudiando planes para conectarse desde el GNEA en la provincia de Formosa al propuesto gasoducto Argentina-Paraguay-Brasil, como un medio para exportar gas fósil desde Vaca Muerta a Brasil. Los mapas del gobierno han indicado que el ducto GNEA podría eventualmente expandirse más al noreste hacia las provincias de Corrientes y Misiones. Sin embargo, los detalles siguen siendo incompletos y cualquier expansión de ese tipo requeriría primero la finalización del segmento norte del ducto en las provincias de Formosa y Salta. Por lo cual, dicho gasoducto ha perdido relevancia dentro del sistema gasífero argentino por falta de demanda interna, falta de interés y existencia de alternativas aledañas para utilizarlo como medio de exportación hacia países limítrofes, como Paraguay y Brasil, y por ineficiencias administrativas que han imposibilitado la conexión de dicho gasoducto y que ha sido, probablemente, un medio para que la política institucional filtre grandes montos de dinero.

<sup>10</sup> <https://www.enargas.gob.ar/secciones/informacion-geografica/atlas-provincial-del-gas.php>

El gasoducto Paraná-Uruguayana recorre desde Aldea Brasileira, Argentina (justo al sur de Paraná en la provincia de Entre Ríos) hasta Uruguayana, Brasil. La ruta del gasoducto corre paralela a la ruta nacional 127 de Argentina, luego cruza la frontera internacional a través de un canal subterráneo debajo del Río Uruguay a 15 km al sur de Paso de los Libres. En Brasil, el gasoducto alimenta un tramo de 25 km del Gasoducto Uruguayana-Porto Alegre parcialmente construido para entregar gas a la central eléctrica Uruguayana. El operador y propietario de este es Transportadora de Gas del Mercosur SA (TGM) y tiene una capacidad instalada de 15 MMm<sup>3</sup>/d con una longitud de 421 km. Se encuentra en funcionamiento desde el año 2000. En 2008, YPF suspendió los envíos de gas a través del ducto debido a la escasez de gas en el mercado interno, lo que provocó una demanda que resultó en que YPF pagara un acuerdo de US\$114 millones al propietario del proyecto, TGM, en 2017. En diciembre de 2017, YPF y TGM firmaron un nuevo acuerdo de transporte que requiere que YPF pague a TGM una tarifa de US\$1.8 millones por año por el uso del ducto Paraná-Uruguayana desde 2018 hasta 2024, independientemente de los volúmenes reales de transporte de gas durante el período especificado. En septiembre de 2021, ENARSA firmó un contrato con la brasileña Âmbor Energía para reanudar el suministro de gas a la central eléctrica de Uruguayana. El contrato se basaría en GNL importado regasificado en la FSRU Escobar de Exceleerate Energy, y luego transportado a Brasil a través de la red de gasoductos existente en Argentina, incluido el Gasoducto Paraná-Uruguayana. La finalización a mediados de 2023 de la primera fase del gasoducto argentino Néstor Kirchner despertó un nuevo interés en una propuesta de larga data para exportar gas argentino desde Vaca Muerta al sur de Brasil, incorporando el gasoducto Paraná-Uruguayana como un componente clave del sistema de transporte de gas transfronterizo. El gasoducto suministra gas natural solamente a la central eléctrica Uruguayana de 640 MW en Brasil. El gasoducto exporta gas a Brasil sólo cuando Argentina tiene suministros suficientes; durante un período de seis años entre 2015 y 2021, las exportaciones de gas a Brasil se suspendieron por completo. Sin embargo, con el desarrollo de reservas de gas natural no convencional en Vaca Muerta en la provincia argentina de Neuquén, Argentina y Brasil han expresado recientemente un renovado interés en desarrollar el corredor de Uruguayana a Porto Alegre como parte del propuesto Gasoducto Vaca Muerta-Brasil.

Por todo lo indicado hasta el momento, las provincias de Chaco, Formosa, Corrientes y Misiones han quedado aisladas de la red de gasoductos argentinos y no presentan un interés genuino, desde el punto de vista de la demanda, como para que la inversión sea dirigida para esas zonas. Y si así fuese, el interés primario sería la exportación de gas natural con la infraestructura ya existente, sin necesidades de nuevas inversiones hacia el interior de dichas provincias. En consecuencia, la baja demanda potencial y aislada en el norte de la provincia de Corrientes no ha traccionado, hasta el momento y luego de un fuerte desarrollo de la red de gas natural argentina desde la década de 1990, inversiones necesarias por parte de la distribuidora. En todo caso, el foco de la distribuidora seguirá estando dentro de la provincia de Entre Ríos, la cual es la única provincia del NEA con algo de desarrollo gasífero. Por último, y como se demostrará en el capítulo 7, dentro del análisis de sensibilidad, inclusive accediendo a la red de gas natural y a valores extremadamente competitivos, el presente plan de negocios sigue siendo rentable.

La ubicación de nuestro proyecto queda totalmente aislada de la posibilidad de abastecimiento mediante el gas natural. Actualmente su consumo energético térmico está basado en el gas licuado de petróleo (GLP).

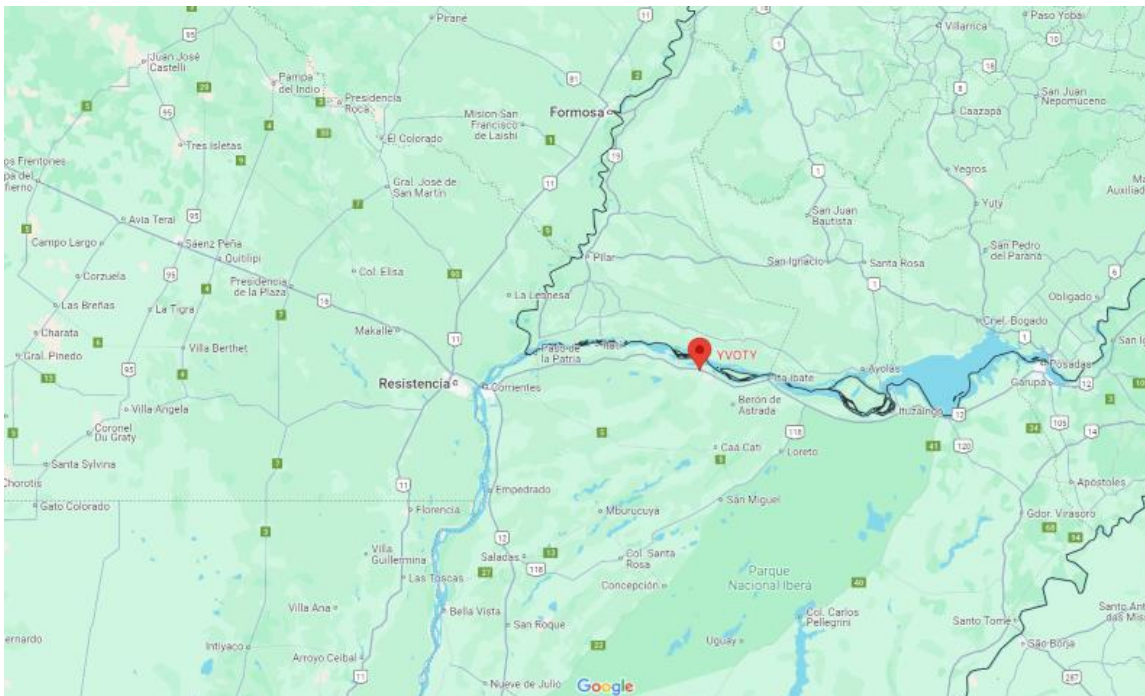


Imagen 6: Yvoty Ganadera S.A., ubicación en cercanías de Berón de Astrada, Corrientes.<sup>11</sup>

#### 1.4. Suministro de GLP en Argentina.

En Argentina la producción de GLP proviene en un 85% a partir del procesamiento de gas natural y el restante 15% a partir de la refinación de petróleo crudo en las refinerías y refipymes del país. El GLP se utiliza para consumo residencial (cocina y calefacción), industrial (procesos térmicos industriales), comercial (cocina y calefacción) y transporte (autoelevadores). La producción local de GLP por lo general resulta suficiente como para cubrir toda la demanda doméstica. En algunos momentos o necesidades puntuales invernales se pueden realizar importaciones, pero no es lo más usual. La mayor parte del GLP se destina al mercado interno, especialmente para las zonas en donde no llega la red de gas natural como sectores rurales y áreas menos urbanas que dependen de combustibles alternativos como el GLP o la leña. Cuando la producción interna excede a la demanda local, se puede exportar GLP hacia Brasil y Chile.

A partir de la producción y procesamiento de los hidrocarburos, el GLP se obtiene a partir de las fuentes indicadas anteriormente, se somete a un proceso de fraccionamiento para separar sus componentes principales (propano y butano principalmente), y se comercializa a los usuarios finales mediante una distribución a granel para los consumidores industriales y mediante una distribución envasada en garrafas o cilindros para los usuarios residenciales en zonas donde no cuentan con acceso a las redes de gas natural.

<sup>11</sup>[https://www.google.com/maps/place/YVOTY/@-27.3874637,-57.705133,17z/data=!3m1!4b1!4m6!3m5!1s0x945a879f38d0d125:0x8e4777a294021ea0!8m2!3d-27.3874685!4d-57.7025581!16s%2Fg%2F11n5h\\_m25j?entry=tту&g\\_ep=EgoyMDI0MDkxMS4wIKXMDSoASAFQA w%3D%3D](https://www.google.com/maps/place/YVOTY/@-27.3874637,-57.705133,17z/data=!3m1!4b1!4m6!3m5!1s0x945a879f38d0d125:0x8e4777a294021ea0!8m2!3d-27.3874685!4d-57.7025581!16s%2Fg%2F11n5h_m25j?entry=tту&g_ep=EgoyMDI0MDkxMS4wIKXMDSoASAFQA w%3D%3D)

Las principales plantas que producen GLP a partir de la producción de gas natural donde se procesa los líquidos pesados del GN son:

- General Cerri en Bahía Blanca procesa los líquidos del GN provenientes de la cuenca Neuquina.
- Mega en Loma La Lata procesa los líquidos del GN provenientes de la cuenca Neuquina.
- Plaza Huincul en la ciudad homónima procesa el gas natural proveniente de la cuenca Neuquina.
- Cañadón Seco en Santa Cruz procesa el gas natural de la cuenca del Golfo San Jorge.
- Río Grande en Tierra del Fuego procesa el gas natural proveniente del *offshore* en la cuenca Austral.
- El Mangrullo en Neuquén procesa el gas natural proveniente de la cuenca Neuquina.
- Campo Durán en Salta se encarga de procesar los líquidos del gas natural proveniente de Bolivia.

La zona Noreste de Argentina cuenta opciones y alternativas de plantas fraccionadoras de GLP y de distribuidores zonales. Por lo cual, a pesar de que la red de gas natural no es una alternativa viable ni posible en el presente ni el futuro, la producción y el suministro de GLP se encuentra maduro para poder abastecer continuamente al área de Corrientes y alrededores.

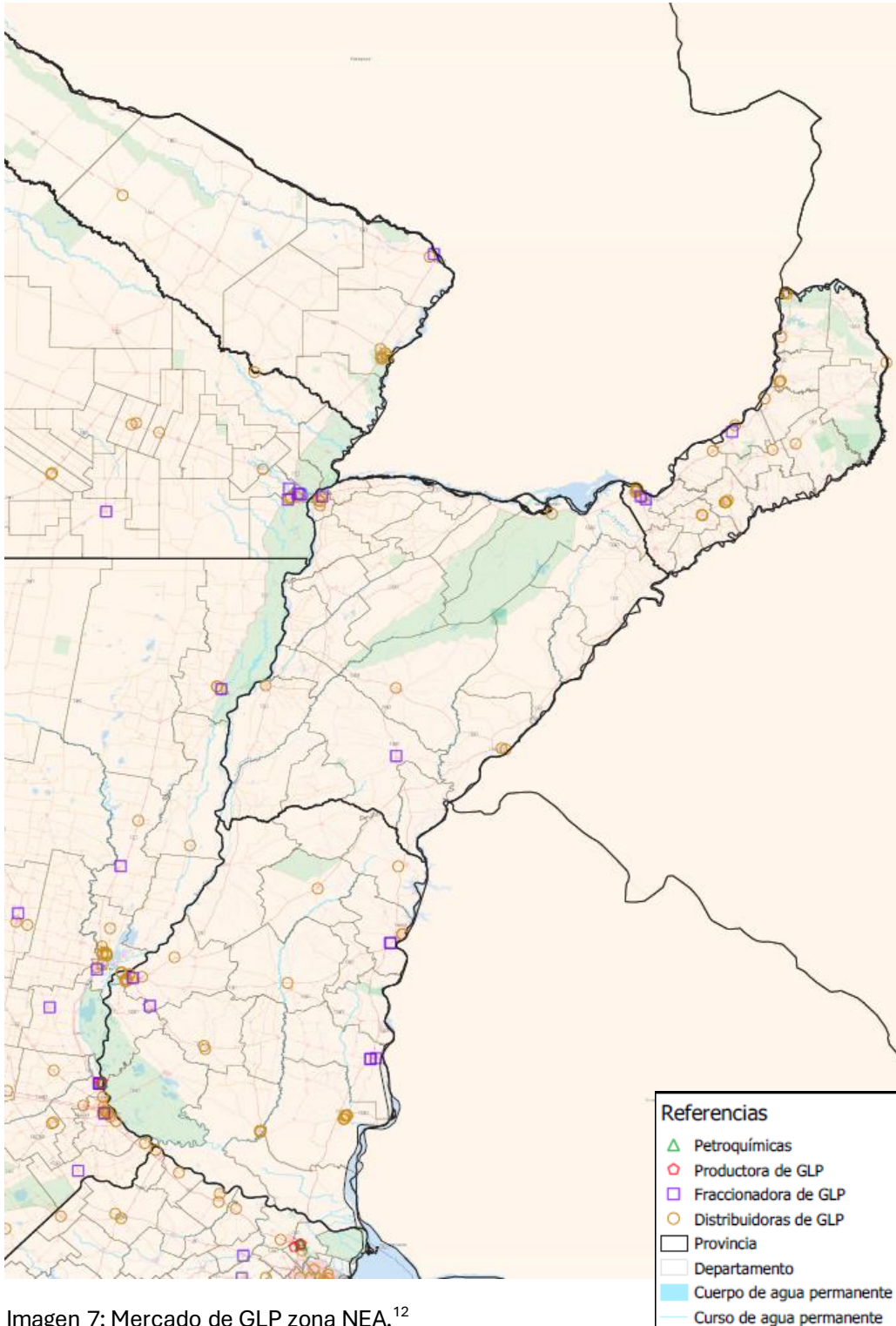


Imagen 7: Mercado de GLP zona NEA.<sup>12</sup>

<sup>12</sup>

[https://www.energia.gob.ar/contenidos/archivos/Reorganizacion/sig/mapastematicos/glp/mercado\\_glp\\_nac.pdf](https://www.energia.gob.ar/contenidos/archivos/Reorganizacion/sig/mapastematicos/glp/mercado_glp_nac.pdf)

### 1.5. Precios y demanda de GLP: históricos y futuros.

El precio del GLP destinado al consumo industrial se establece en función de varios factores, ya que este combustible presenta un mercado más liberalizado en comparación con el destinado para el consumo residencial (garrafa social). Los industriales suelen adquirirlo a granel y los precios varían en función de las condiciones de mercado, la oferta y la demanda.

El precio para el GLP industrial refleja en buena manera los costos de producción que incluyen la extracción de hidrocarburos y el procesamiento en las plantas de fraccionamiento. A su vez, el *export parity* tiene cierta injerencia dentro del mercado. Por lo general, se suelen firmar contratos de largo plazo, entendiendo el largo plazo unos 5 años. Este tipo de contratos abarca la instalación del equipamiento necesario, así como el fluido combustible, propiamente dicho, con exclusividad de consumo para con el proveedor elegido. Se suele tomar como referencia los precios publicados en mercados internacionales como el de Mont Belvieu (Texas, EE. UU.).

Si bien en Argentina se cuenta con base de datos, el mercado de GLP se encuentra de alguna manera intervenido como consecuencia del impacto que el Estado considera que dicho combustible tiene sobre los consumidores residenciales a través de la garrafa social. Por un lado, se establecen precios para los productores de acuerdo con el Programa Hogar y, por otro lado, las empresas presentan declaraciones juradas en donde declaran los volúmenes y precios acordados. A pesar de ello, la carga y consistencia de datos suele ser dudosa. En las siguientes tablas se indican los precios históricos para el GLP industrial de los últimos 5 años y los precios futuros proyectados para los próximos 18 meses en función de la referencia Mont Belvieu.

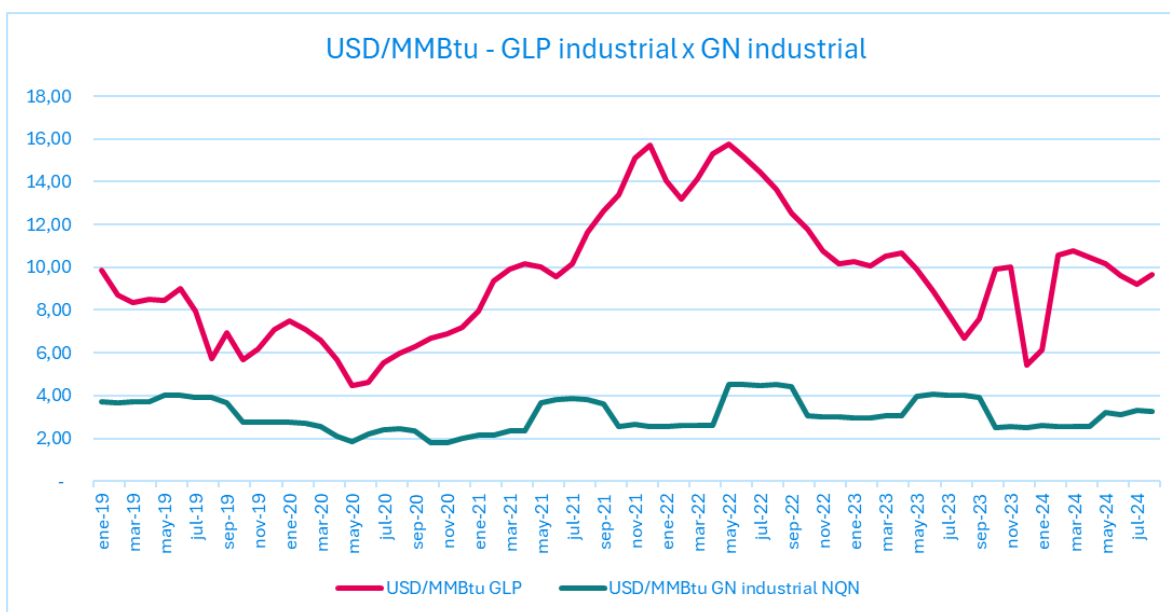


Gráfico 6: Precios históricos GLP industrial mercado argentino en USD/MMBtu.<sup>13</sup>

<sup>13</sup> Elaboración propia en función de datos de la Secretaría de Energía de Argentina.

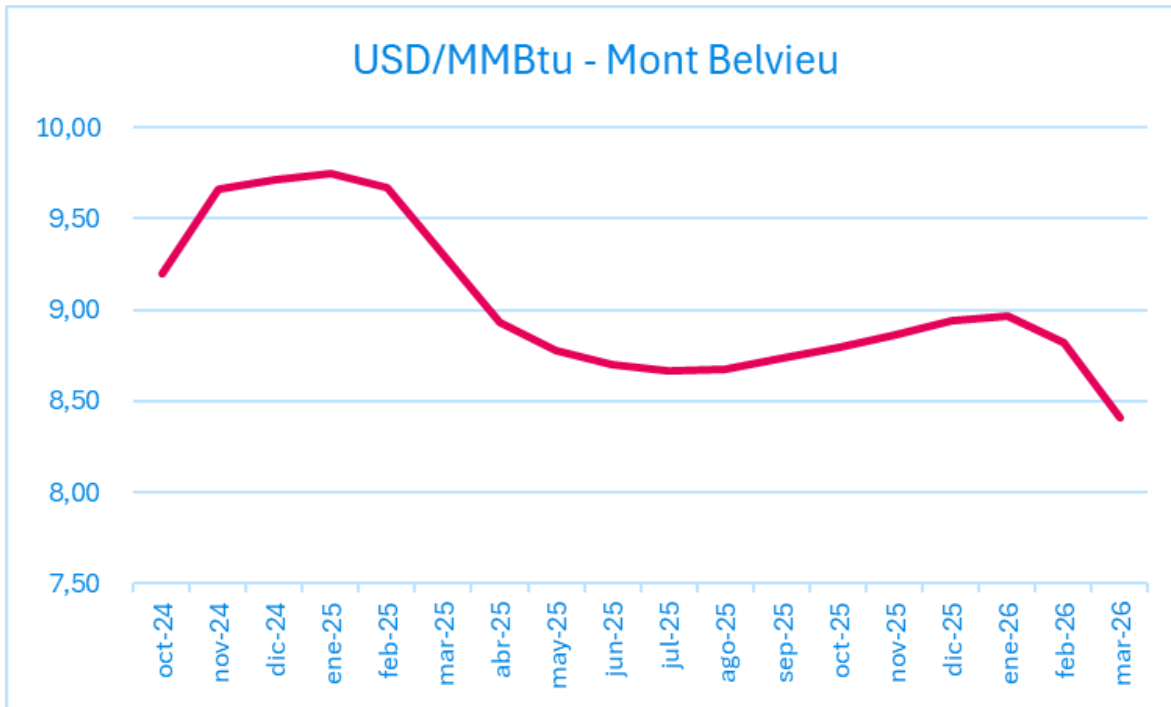


Gráfico 7: Precios futuros GLP mercado internacional en USD/MMBtu.<sup>14</sup>

Como podemos observar, los precios históricos del GLP para abastecimiento industrial, al menos de los últimos cinco años, han sido claramente superiores a los acordados en el libre mercado entre privados para las campañas de gas natural del segmento industrial. A modo referencial, en los últimos cinco años, abastecerse mediante la red troncal de gas natural representa un ahorro promedio del 65% frente a abastecerse con GLP. Para un análisis económico y financiero podría tomarse un valor de 400 USD/ton (equivalente a 9,2 USD/MMBtu) como referencia promedio histórica de los últimos 5 años y proyecciones futuras para los próximos 2 años.<sup>15</sup>

### 1.6. Precios de energía eléctrica.

El valor monómico de la energía eléctrica se compone de diversos conceptos y se calcula de manera mensual. Para estimarlo se establecen los costos de generación media y de allí el precio estacional trasladado a cada usuario, y en consecuencia el porcentaje de cobertura o subsidios que cada segmento recibe. Un GUDI (Gran Usuario de la Distribuidora) es un usuario alcanzado por la Res. SE 1281/06 que abastece su demanda eléctrica totalmente a través de la distribuidora zonal, es decir, tanto la energía eléctrica, así como el servicio de transporte y de distribución son remunerados por cuenta de la distribuidora, y es quien se encarga de vender todos los conceptos y cargos a este tipo

<sup>14</sup> Elaboración propia en función de <https://www.cmegroup.com/markets/energy/petrochemicals/mont-belvieu-propane-5-decimals-swap.quotes.options.html#optionProductId=4584>

<sup>15</sup> En función del capítulo 2.2 y 4.1.2 del “Proyecto de inversión para el reciclaje y la valorización de residuos en la industria agroganadera de la provincia de Corrientes” (Gabriel Morano, EMBA UTDT, 2024).

de usuarios. Es decir, se provee la totalidad de su abastecimiento a través de la distribuidora. Análogamente a lo que ocurre con la demanda residencial. La potencia mínima demandada es de 300 kW para este tipo de usuarios.

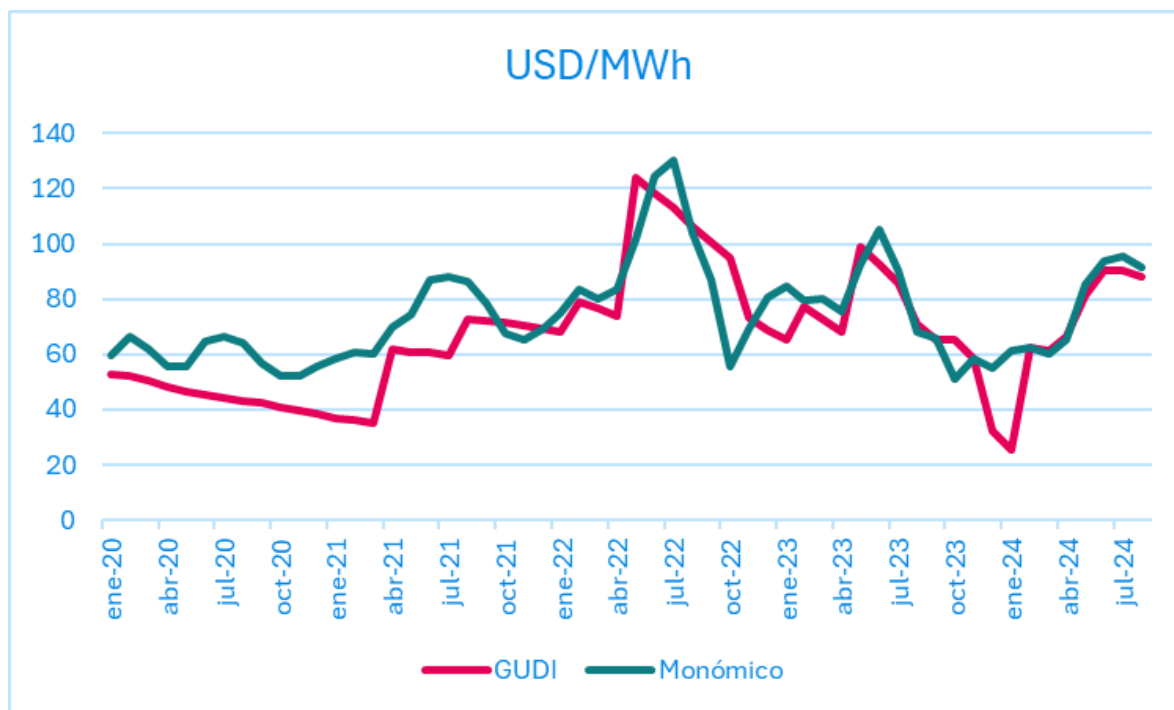
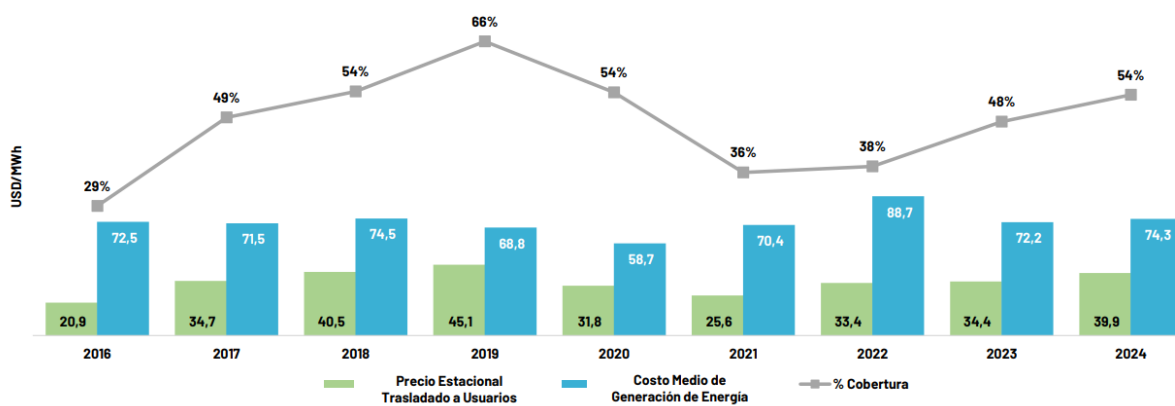


Gráfico 8: Precios históricos monómico y que abonan los GUDI por la energía eléctrica en el mercado argentino en USD/MWh.<sup>16</sup>

Por ejemplo, de ene-24 a sep-24, el precio estacional trasladado a los usuarios de las distribuidoras alcanzó una cobertura promedio del 54% del precio monómico. Durante sep-24 el precio monómico medio de la electricidad alcanzó los 79 USD/MWh y la cobertura promedio del precio estacional alcanzó el 71%.



<sup>16</sup> Elaboración propia en función de datos de la Secretaría de Energía de Argentina.

Gráfico 9: Evolución de los costos de generación, precio estacional trasladado y % de cobertura.<sup>17</sup>

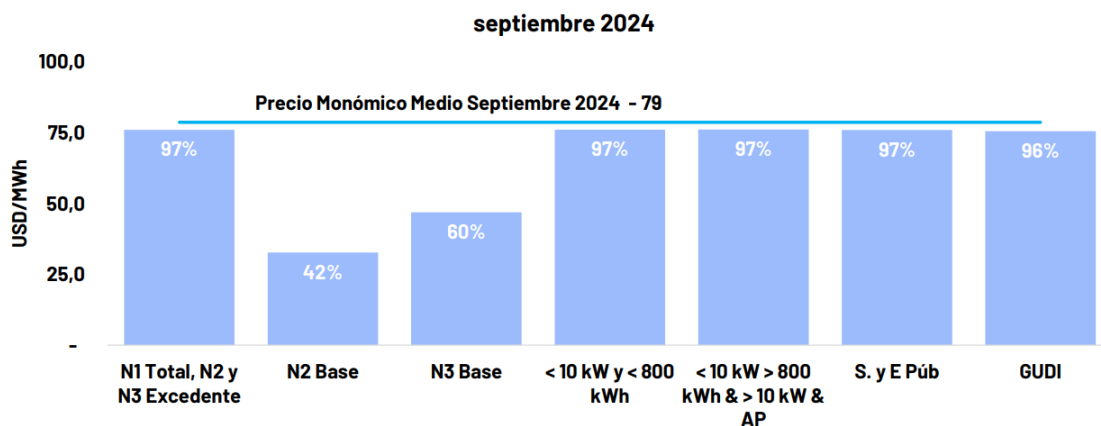


Imagen 8: Cobertura del costo de sistema por usuario durante sep-24.<sup>18</sup>

A modo de ejemplo, se detalla el desglose del precio monómico por componente para el año 2023. Cada variable refleja cuál es el aporte porcentual para cada componente y cómo se elabora el precio para la demanda local.

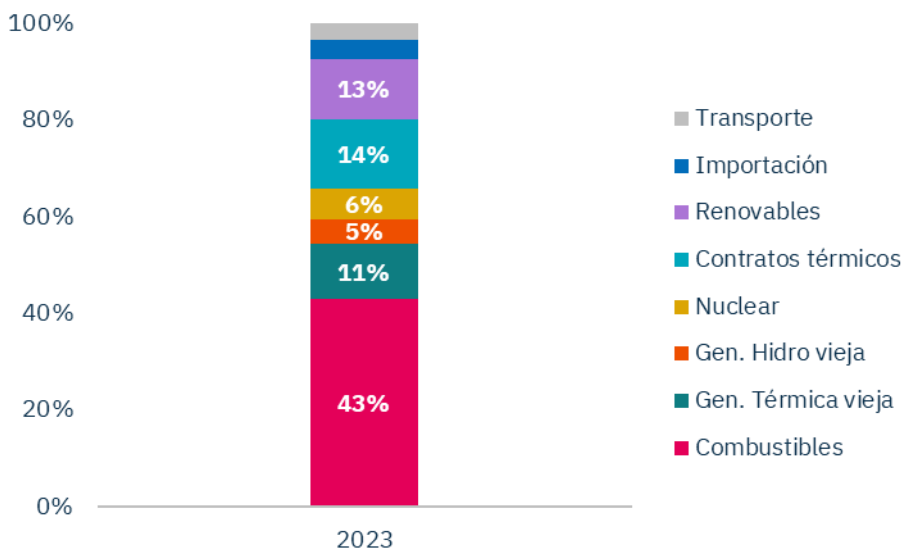


Gráfico 10: Precio monómico por componente.<sup>19</sup>

A modo referencial, en la provincia de Corrientes Yvoty Ganadera S.A. ha abonado 90 USD/MWh por el suministro correspondiente al mes de sep-24, y ha abonado 75 USD/MWh como promedio anual

<sup>17</sup> Informe sectorial septiembre 2024 – UDEA y ADEERA.

<sup>18</sup> Informe sectorial septiembre 2024 – UDEA y ADEERA.

<sup>19</sup> Elaboración propia en base a CAMMESA.

durante todo el año 2024 por el suministro de la energía eléctrica. En líneas generales, los usuarios GUDI han perdido una gran cantidad de subsidios estatales en los últimos meses, tendencia que se verifica actualmente en el mercado por el pase de los mismos a tarifas mayoristas que les permitirán acceder a precios que se regirán por el precio monómico de la energía eléctrica. Para el análisis económico podría considerarse un valor de 75 USD/MWh.<sup>20</sup>

---

<sup>20</sup> En función del capítulo 2.2 y 4.1.2 del “Proyecto de inversión para el reciclaje y la valorización de residuos en la industria agroganadera de la provincia de Corrientes” (Gabriel Morano, EMBA UTDT, 2024).

## 2. MERCADO AGROGANADERO: ARROZ, GANADO VACUNO Y GENERACIÓN DE RESIDUOS

### 2.1. Producción de arroz en Argentina.

El arroz es un cultivo de ciclo anual que requiere determinadas condiciones ecológicas para su desarrollo, en cuanto a temperaturas, agua y luminosidad.

La producción primaria, es decir, la siembra y la cosecha, está concentrada en el litoral, por el tipo de clima y de suelo de la región, que favorece la inundación necesaria para el cultivo. Argentina produce 1,6 millones de toneladas anuales. En los últimos 10 años la producción se incrementó un 121%, acompañada por un alza del 16% en los rendimientos. Los principales molinos arroceros también se ubican en el litoral argentino, aunque la molienda no se distribuye de igual manera que la producción primaria: el primer lugar lo ocupa la provincia de Entre Ríos, seguido de Santa Fe, y muy por debajo se ubican Chaco, Corrientes y Misiones.

En la campaña 2023-2024, las provincias con mayores hectáreas sembradas de arroz fueron Corrientes con el 47% del total de las hectáreas sembradas, Entre Ríos con el 28%, Santa Fe con el 14%, Formosa con el 8% y Chaco con el 3%.

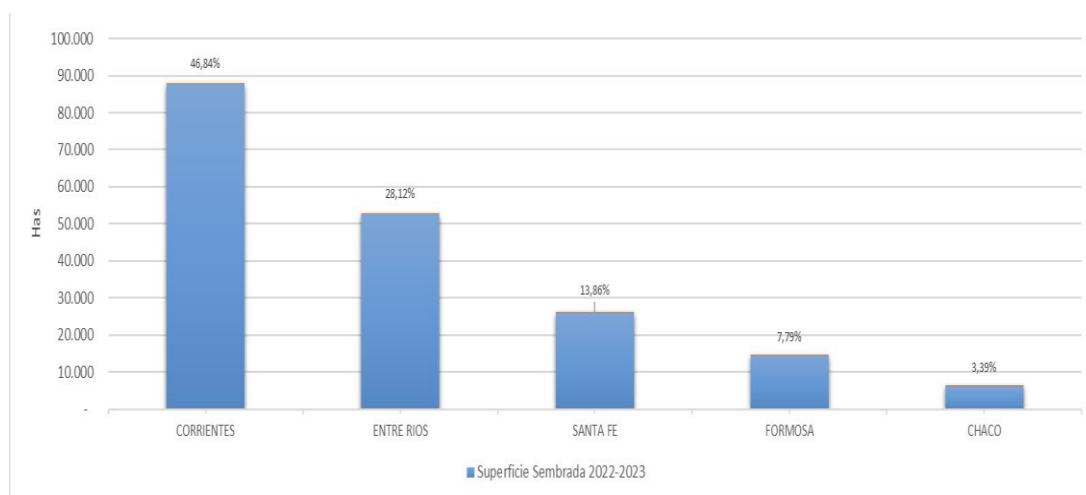


Gráfico 11: Superficie sembrada por provincia y su porcentaje sobre el total.<sup>21</sup>

<sup>21</sup> [www.argentina.gob.ar/sites/default/files/informe-sisa-arroz-2023-2024.pdf](http://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/informe-sisa-arroz-2023-2024.pdf)

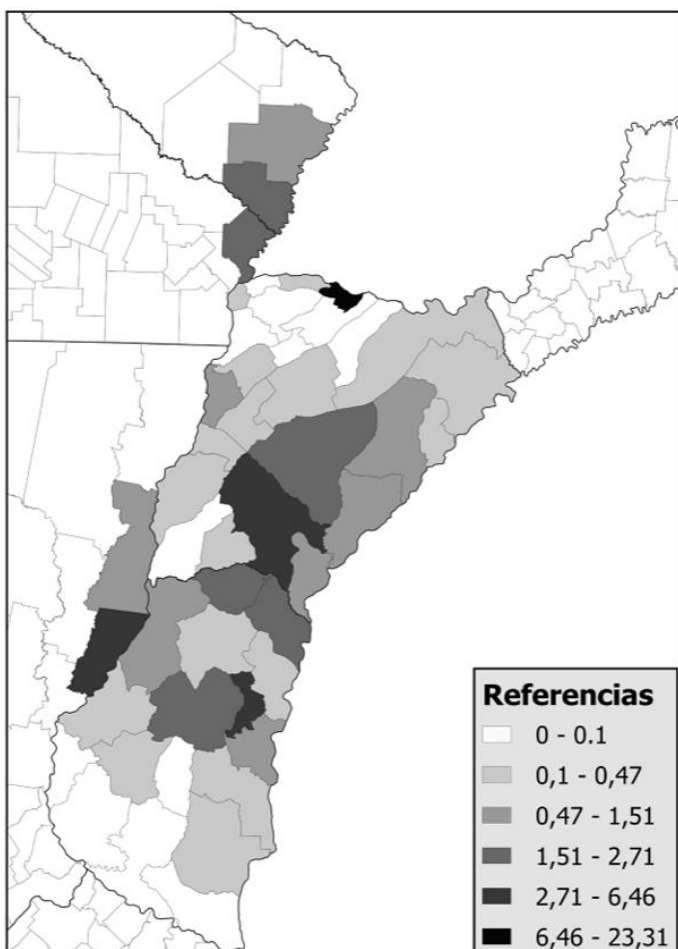


Imagen 9: Distribución geográfica en función de la intensidad de hectáreas destinadas al cultivo de arroz declaradas por departamentos de cada provincia (en porcentaje).<sup>22</sup>

## 2.2. Procesos productivos en la industria arrocera.

Los eslabones involucrados en la cadena de arroz son tres: la producción agrícola, el procesamiento industrial y la comercialización.

En la producción a campo se obtiene el arroz cáscara que luego se destina al secado y posteriormente a la molienda. El procesamiento industrial consiste en someter el arroz cáscara a un proceso de secado, el descascarillado, el pulido para obtener arroz blanco apto para el consumo y algunos subproductos y derivados como el arroz partido. El proceso de secado puede ser realizado tanto por el productor como por el molino, aunque este último le transfiere los costos al primero en caso de llevar a cabo la tarea.

Luego, el arroz integral pasa por un segundo descascarillado y pulido que da lugar al arroz blanco. Los subproductos derivados de estas etapas -el afrecho de arroz y la cáscara de arroz- suelen ser utilizados en dietas balanceadas para alimento de animales. El arroz blanco y sus variedades partidas, así como el integral, se destinan al consumo para el mercado interno y a la exportación. Las

<sup>22</sup> [www.argentina.gob.ar/sites/default/files/informe-sisa-arroz-2023-2024.pdf](http://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/informe-sisa-arroz-2023-2024.pdf)

ventas externas tienen mayor importancia para el arroz blanco que para el arroz cáscara. La etapa de comercialización del arroz cáscara se desarrolla sin intermediarios en la cadena y las ventas se realizan directamente a los molinos o se entrega el grano a las cooperativas.

### 2.3. Demanda local y exportación de arroz y en sus diferentes variedades.

Argentina tiene un consumo per cápita de arroz elaborado que oscila entre 10 y 11 kilogramos por año (aproximadamente 500.000 toneladas anuales). Este valor se encuentra muy por debajo del promedio mundial (56,4 kg por persona, por año) permitiendo destinar importantes saldos para ventas externas, estimado en 1.1 millones de toneladas anuales.

En el 2023 se registraron exportaciones por 640.000 toneladas de arroz en sus diferentes variedades. Las mismas tuvieron destino en Brasil, Chile, Irak, Turquía, Costa Rica, España, entre otros.

Tipo de Arroz	Blanco	Integral	Partido	Cáscara	Total
Cantidad %	55%	30%	12%	3%	100%
Cantidad en TN	352.000	192.000	76.800	19.200	640.000

Tabla 1: Exportaciones 2023 por tipo de arroz.<sup>23</sup>

### 2.4. Generación y problemática de los residuos arroceros.

En la producción de arroz, tanto en el proceso primario como en el industrial, se generan varios tipos de residuos, los cuales pueden tener diferentes impactos en el medio ambiente si no se gestionan adecuadamente.

#### 1. Residuos de la cosecha:

- Paja o rastrojo de arroz: es el residuo más abundante de la cosecha del arroz. La paja representa alrededor del 50% del peso total del cultivo de arroz.

#### 2. Residuos de la molienda:

- Cáscara de arroz: después de la trilla, la cáscara de arroz, que es la capa protectora externa del grano de arroz, constituye otro residuo significativo. La cáscara representa alrededor del 20% del peso total del arroz cosechado.
- Salvado de arroz o afrecho: es el subproducto generado durante la molienda del arroz integral para producir arroz blanco. El salvado representa aproximadamente el 8-10% del peso total del arroz sin procesar.
- Polvo de arroz y partículas finas: estos son residuos finos generados durante el proceso de molienda. Pueden ser difíciles de manejar debido a su tamaño y la facilidad con la que pueden dispersarse en el aire.

<sup>23</sup> Elaboración propia en base a datos de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca y de [www.argentina.gob.ar/sites/default/files/informe-sisa-arroz-2023-2024.pdf](http://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/informe-sisa-arroz-2023-2024.pdf).

- Arroz roto: durante la molienda, algunos granos de arroz se rompen y no cumplen con los estándares de calidad para el arroz de mesa. Estos granos rotos pueden usarse en productos secundarios, pero también se consideran un residuo del proceso principal.

La quema de paja de arroz en el campo, una práctica común en muchas regiones, libera grandes cantidades de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) en la atmósfera, contribuyendo a la contaminación atmosférica con impactos medioambientales negativos. La descomposición anaeróbica de la paja de arroz en condiciones de humedad, como en los campos de arroz inundados, también produce metano, un potente gas de efecto invernadero.

La cáscara de arroz, debido a su alto contenido de sílice, no se descompone fácilmente. Si se desecha en grandes cantidades en el suelo, puede afectar la calidad del suelo y su capacidad de retención de agua.

## **2.5. Producción de ganado vacuno en Argentina y en Corrientes.**

La producción de carne bovina es una actividad importante para la economía argentina, representando el 35% del Producto Bruto Agropecuario Nacional. La misma se divide en una etapa primaria y en una etapa industrial.

Aunque el ganado vacuno se encuentra distribuido en todo el país, existen zonas claramente diferenciadas que permiten dividir al país en cinco grandes regiones ganaderas: Región Pampeana, Región del Noreste (NEA), Región del Noroeste (NOA), Región Semiárida y Región Patagónica.

El stock bovino a diciembre de 2023 fue de 52.783.892 cabezas de ganado, según la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. La región Centro (Buenos Aires, Córdoba, Entre Ríos y Santa Fe) concentra más del 65% del stock bovino nacional, destacándose Corrientes dentro de las zonas pampeanas con un total de 4.364.338 cabezas. Históricamente, la región concentraba el 80% de las existencias, dando cuenta del proceso de avance de la ganadería hacia las provincias no pampeanas.

En los últimos años, el avance de la actividad agrícola ha desplazado la actividad ganadera de la zona pampeana hacia provincias tradicionalmente no ganaderas, dando lugar a una reestructuración geográfica de la actividad en el país. La disminución se produjo principalmente en Buenos Aires, adquiriendo una participación más importante en las provincias del norte, con mayor preponderancia en el NEA. Las zonas semiáridas y áridas, que incluyen La Pampa, San Luis y la Patagonia, también incrementaron su stock.

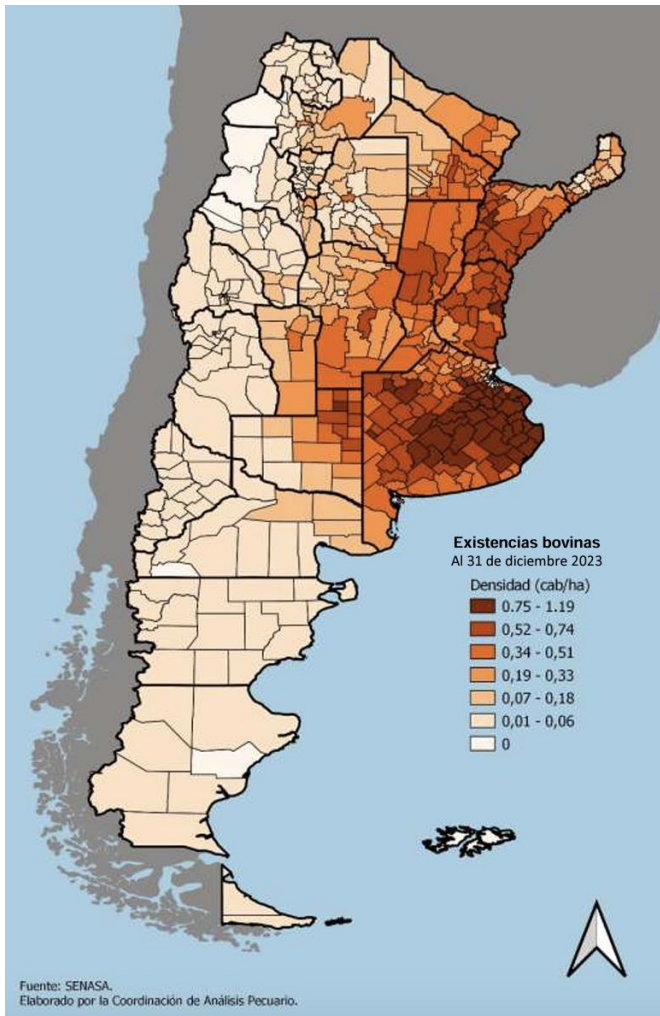


Imagen 10: Distribución geográfica de la densidad de cabezas de ganado (cabezas/hectáreas).<sup>24</sup>

## 2.6. Procesos productivos en la industria vacuna.

El proceso productivo de la industria vacuna involucra desde los eslabones productivos primarios dedicados a la producción de animales con contenido genético hasta la comercialización del producto final del complejo, carne vacuna y productos derivados.

El eslabón inicial se dedica a la producción de animales reproductores de alta calidad genética. Comercializa animales en pie (machos o hembras) o semen congelado para la inseminación directa en los establecimientos de cría. La actividad continúa con cría, re cría e internada del ganado (a campo o en feedlots) y finaliza con la faena y comercialización de la carne y subproductos.

<sup>24</sup>

[https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/bovinos/informacion\\_interes/informes/\\_archivos//000001=Series%20de%20stock%20bovino%20y%20mapas/000000\\_Mapas/000000\\_Ganado%20bovino.pdf](https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/bovinos/informacion_interes/informes/_archivos//000001=Series%20de%20stock%20bovino%20y%20mapas/000000_Mapas/000000_Ganado%20bovino.pdf)

Dentro del eslabón primario, la cría es la actividad pecuaria cuyo producto final es la producción de terneros de invernada ya destetados para su posterior engorde. El engorde se puede realizar en los mismos establecimientos de cría (ciclo completo) o en establecimientos específicos de invernada (engorde a pasto con suplementación) y/o en feedlots (engorde en confinamiento con alimento balanceado). Cabe destacar que el engorde que se desarrolla en una primera etapa en establecimientos de invernada o ciclo completo puede, en la última etapa del ciclo de la curva de ganancia de peso, ser enviado a feedlot (a través de venta directa o del arrendamiento de las instalaciones hoteleras de feedlot). Los ingresos de terneros a corrales se ubican en torno al 20/25% del total de movimientos de invernada (movilización de ganado para engorde).

La actividad ganadera compite por el uso del suelo, fundamentalmente con la actividad agrícola. La mayor rentabilidad de los cultivos respecto de la ganadería resultó, desde mediados de los noventa del siglo pasado, en un uso más intensivo del suelo y en una relocalización de la actividad ganadera hacia tierras de menor productividad relativa.

La fase industrial comienza por la faena del animal, actividad que se realiza en frigoríficos o mataderos provinciales y municipales. De allí se obtienen dos medias reses, trozos y otros productos y subproductos derivados (cuero, sangre, grasas, menudencias y vísceras), cada uno de los cuales inicia una ruta productiva particular. La clasificación de las plantas industriales está asociada al tipo de tarea que realizan, es decir si se dedican sólo a la faena y la obtención de dos medias reses y subproductos (ciclo I), despostado de la media res (ciclo II) o ambas (ciclo completo). En la industria intervienen otros agentes productivos, además de los propios establecimientos industriales. Los usuarios de faena o matarifes son intermediarios cuya actividad está dedicada a la compra de hacienda en pie en peso de faena para luego subalquilar los servicios de faena a las plantas frigoríficas o mataderos, vendiendo posteriormente la mercadería en forma directa a comercios mayoristas o minoristas. En el país existen tres mercados concentradores de comercialización con destino a faena: Mercado de Liniers, Mercado de Córdoba y Mercado de Rosario. El primero de ellos es el más importante y se presenta como formador de precios de referencia para todo el país. Si bien la faena se distribuye en casi todo el país, la provincia de Buenos Aires concentra más de la mitad, seguida por Santa Fe y Córdoba.

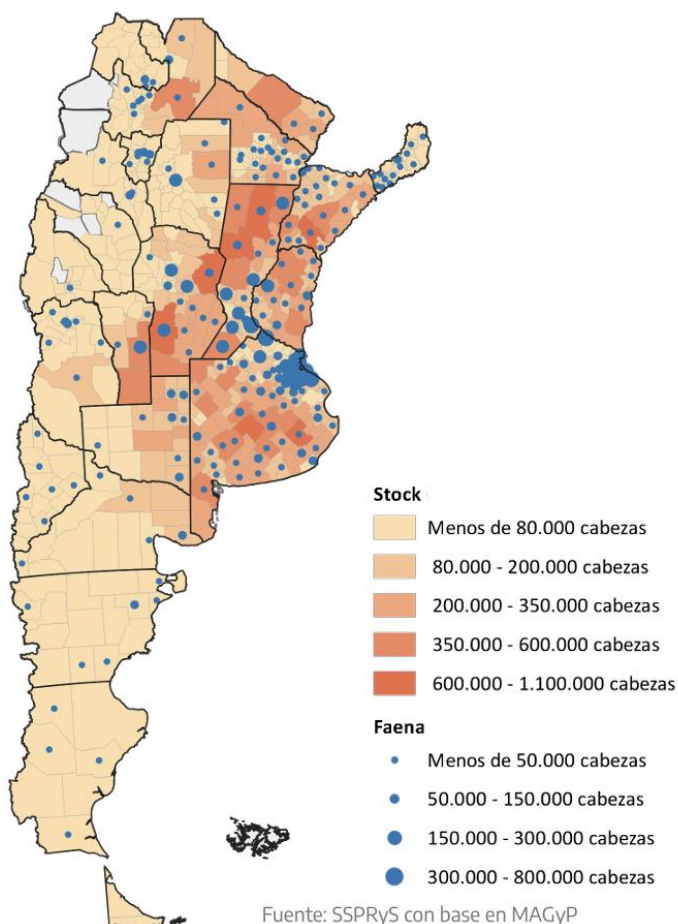


Imagen 11: Distribución geográfica de cabezas de ganado en actividad primaria e industrial.<sup>25</sup>

## 2.7. Mercado del feedlot.

El negocio de un feedlot consiste en un sistema intensivo de engorde de ganado bovino, cuyo objetivo principal es maximizar el peso de los animales en un corto período de tiempo. El proceso comienza con la compra de animales jóvenes, generalmente terneros o novillos, que todavía no han alcanzado el peso adecuado para faena. Estos animales son adquiridos de productores de cría y luego se trasladan al feedlot, donde se los somete a un régimen alimenticio especializado.

La clave del feedlot es el engorde intensivo en corrales, con una dieta basada en granos, concentrados y forrajes que favorecen una alta ganancia de peso en menos tiempo comparado con el sistema tradicional a pastura. Durante un período, que varía dependiendo del peso inicial y las metas de producción, los animales incrementan su peso rápidamente, lo que permite al feedlot venderlos a frigoríficos o mercados de consumo para la faena.

<sup>25</sup>[https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/bovinos/informacion\\_interes/informes/\\_archivos//000001=Series%20de%20stock%20bovino%20y%20mapas/000000\\_Mapas/000000\\_Ganado%20bovino.pdf](https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/bovinos/informacion_interes/informes/_archivos//000001=Series%20de%20stock%20bovino%20y%20mapas/000000_Mapas/000000_Ganado%20bovino.pdf)

Existen feedlots para recría, en donde se engorda al animal, luego del destete, desde los 120 kg hasta los 200 kg, aproximadamente, y feedlots que engordan al animal desde los 200 kg hasta el faenado (entre 380 y 400 kilogramos, aproximadamente).

Un aspecto crucial en el negocio es la optimización de los recursos, ya que se pueden manejar grandes cantidades de ganado en un espacio reducido, a diferencia de los sistemas extensivos. Esto permite mantener un ciclo constante de producción, con animales entrando y saliendo regularmente para ser vendidos.

De acuerdo con los datos reportados por SENASA al 1ro de agosto de 2024, la cantidad de bovinos alojados en feedlots asciende a 2.045.198 cabezas, un 7% superior al registro del año anterior.

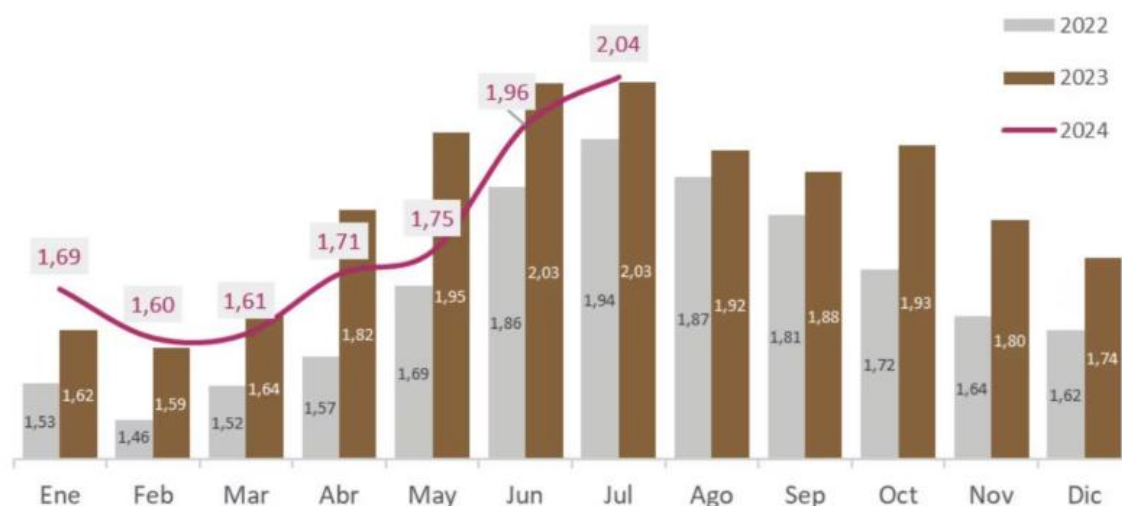


Gráfico 12: Evolución de las cabezas de ganado en feedlot en Argentina, en millones de cabezas. <sup>26</sup>

### 2.8. Demanda local y exportación de derivados vacunos.

Las exportaciones del año 2023 cerraron en 852.806 mil toneladas equivalentes res con hueso. Los principales destinos para las carnes argentinas fueron China, que concentró el 78% de los envíos; la Unión Europea con el 8%, Israel con el 6%, seguido por Estados Unidos y Chile, quienes acapararon cada uno el 3% de los envíos nacionales. La relación entre lo exportado y lo producido estuvo en el orden del 26%.

<sup>26</sup> Datos reportados por el Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA), al 1º de julio de 2024.

Año	TN eq Res con hueso	Miles de USD	Exportación/Producción
2019	843.726	3.104.914	27,0%
2020	885.354	2.698.754	27,9%
2021	726.169	2.643.541	24,4%
2022	803.499	3.289.875	25,5%
2023	852.806	2.655.861	26,0%

Tabla 2: Exportaciones totales de carne vacuna en 2023.<sup>27</sup>

Por su parte, el consumo interno de carne vacuna en Argentina se encuentra en una tendencia decreciente desde la segunda mitad del siglo pasado, conforme se la ha ido sustituyendo por pollo y cerdo. En línea con esta tendencia, la Bolsa de Comercio de Rosario estima que en 2024 el consumo de carne bovina en Argentina podría llegar a ser el más bajo desde que se tiene registro. En efecto, se proyecta que el consumo anual por habitante promedio en 2024 sea de sólo 44,8 kg, por debajo del promedio histórico de 72,9 kg. Pese a todo, en la comparativa internacional Argentina continúa siendo uno de los países con mayor consumo per cápita, con una ingesta prácticamente igual a la de Uruguay y superando ampliamente a Estados Unidos (38 kg/habitante por año), Australia (27 kg/habitante por año) y Chile (26 kg/habitante por año).

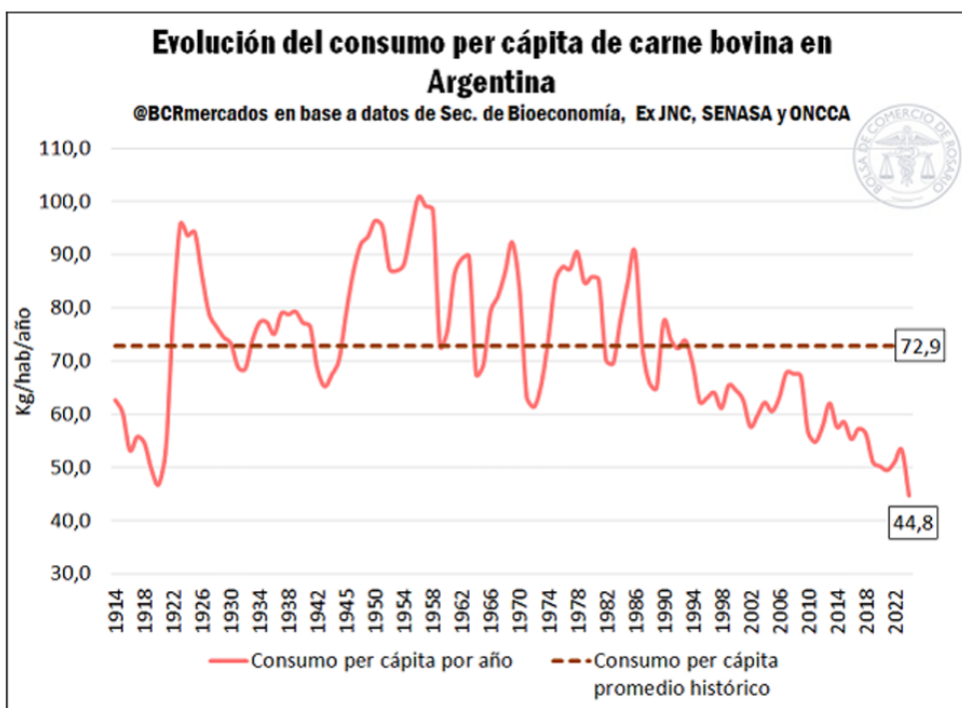


Gráfico 13: Evolución del consumo de carne por habitante por año en Argentina.<sup>28</sup>

<sup>27</sup>Elaboración propia en base a datos de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca <https://www.argentina.gob.ar/noticias/se-recalaron-las-exportaciones-de-carne-vacuna-y-el-consumo-por-persona-de-los-ultimos-4>

<sup>28</sup><https://www.bcr.com.ar/es/mercados/investigacion-y-desarrollo/informativo-semanal/noticias-informativo-semanal/el-consumo-5>

## **2.9. Generación y problemática de los residuos vacunos.**

En la industria vacuna se generan varios tipos de residuos que presentan desafíos ambientales y es de vital importancia un manejo adecuado de los mismos. Los residuos más comunes son:

- Estiércol y orina: son el principal residuo generado en la industria vacuna, especialmente en los feedlots, donde los animales están confinados y la producción de desechos es más concentrada. Un bovino en feedlot produce entre 20 y 40 kg de estiércol por día, dependiendo de su peso. El mismo puede generar contaminación del suelo y del agua. Si el estiércol y la orina no son gestionados adecuadamente, pueden escurrir hacia fuentes de agua subterráneas y superficiales, contaminando acuíferos, ríos y arroyos. Esto genera eutrofización (aumento de nutrientes en cuerpos de agua), afectando la calidad del agua.
- Emisiones de gases de efecto invernadero: los bovinos emiten gases como metano (CH<sub>4</sub>) a través del proceso de fermentación entérica (digestión). Además, los gases derivados de la descomposición del estiércol también son una fuente significativa de gases de efecto invernadero.
- Residuos sólidos y orgánicos de faena: en las plantas de procesamiento de carne se generan residuos como sangre, huesos, vísceras, cuero, grasa, entre otros. Estos residuos tienen una alta carga orgánica y pueden afectar la calidad del suelo y del agua si se vierten sin tratamiento, como así también generar malos olores y atraer a plagas como roedores y moscas, afectando el ambiente y la salud pública.

### 3. BIOMASA Y VALORIZACIÓN DE RESIDUOS

#### 3.1. Procesos de la biomasa.

La biomasa es la materia orgánica, de origen vegetal o animal, que puede ser utilizada como fuente de energía o como fuente para generación de materiales. Esta energía se libera a través de procesos de combustión directa, fermentación o digestión anaeróbica para producir calor, electricidad, combustibles y/o materiales. La biomasa incluye recursos como restos de madera, residuos agrícolas, estiércol, cultivos energéticos y desechos orgánicos urbanos, entre otros.

La biomasa puede ser procesada mediante una transformación termoquímica, una transformación bioquímica o una transformación fisicoquímica. Dentro de la termoquímica existe la combustión directa, gasificación y pirólisis. Dentro de la bioquímica existe la digestión anaeróbica y la fermentación. Dentro de la fisicoquímica existe la compresión o extracción. Todas estas transformaciones con sus subetapas posibles resultan procesos susceptibles de conversión de la biomasa en energía térmica, energía eléctrica, combustibles y/o materiales.

El biogás se obtiene mediante una digestión anaeróbica de nutrientes en condiciones de temperatura, contenido de agua, alcalinidad y pH controlados y en ausencia de oxígeno. Generalmente el producto obtenido consiste en una mezcla de gases de metano (50-75%) y dióxido de carbono (25-50%) principalmente, y pequeñas cantidades de hidrógeno, sulfuro de hidrógeno y amoníaco. Esta mezcla de gases (biogás) contiene aproximadamente 6.000 kcal/m<sup>3</sup> de poder calorífico superior, frente a las 9.300 kcal/m<sup>3</sup> que presenta el gas natural comercial con un contenido superior al 90% de metano. Es decir, 1 m<sup>3</sup> de biogás equivale a 0.6 m<sup>3</sup> de gas natural aproximadamente.

Compostos	Unidade	Concentração (%)		
		Biogás <sup>(b)</sup>	Gás Natural <sup>(a)</sup>	SynGas <sup>(b)</sup>
Metano (CH <sub>4</sub> )	Vol. %	55-70	91	0-15
Etano (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )	Vol. %	0	5,1	0
Propano (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> )	Vol. %	0	1,8	0
Butano (C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> )	Vol. %	0	0,9	0
Pentano (C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> )	Vol. %	0	0,3	0
Gás Carbônico (CO <sub>2</sub> )	Vol. %	25-40	0,61	25-35
Hidrogênio (H <sub>2</sub> )	Vol. %	0	0	20-40
Gás Sulfídrico (H <sub>2</sub> S)	Vol. %	0,5-1	< 0,001	0
Nitrogênio (N <sub>2</sub> )	Vol. %	< 0,001	0,32	2-5
Amonia (NH <sub>3</sub> )	Vol. %	< 0,01	< 0,001	< 0,001
Monóxido de Carbono (CO)	Vol. %	< 0,01	0	35-40

Fonte: <sup>(a)</sup>MONET, 2003; <sup>(b)</sup>PERLINGEIRO, 2014.

Tabla 3: Composición química de mezclas gaseosas combustibles.<sup>29</sup>

### 3.2. Proceso de biodigestión, aprovechamiento del biogás y del digerido.

La producción de biogás consiste en una serie de etapas que comienzan con la hidrólisis de los compuestos orgánicos complejos como proteínas, carbohidratos y lípidos para convertirlos en unidades funcionales más sencillas como aminoácidos, azúcares y ácidos grasos. Estas unidades se someten a un proceso de acidogénesis para obtener ácidos grasos de cadena corta y otros compuestos orgánicos. En la siguiente etapa de acetogénesis se obtiene ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono. En la etapa final de metanogénesis se obtiene propiamente el biogás que contiene metano y dióxido de carbono. La mayoría de los microorganismos metanogénicos soportan temperaturas entre los 37°C y los 42°C, por lo que la mayoría de las plantas operan en este rango de temperaturas para obtener un alto rendimiento y estabilidad del proceso. Otra variable para tener en consideración en digestión anaerobia es el pH que debe operarse en ambientes controlados para maximizar el rendimiento y eficiencia de la producción del biodigestor. La relación C/N debe encontrarse en el rango de 10-30, y que demasiado contenido de N conlleva una formación excesiva de amoníaco y la consecuente inhibición del proceso de biodigestión. El carbono y el nitrógeno son las principales fuentes de alimentación de las bacterias metanogénicas. El carbono constituye la fuente de energía y el nitrógeno es utilizado para la formación de nuevas células. Estas bacterias consumen 30 veces más carbono que nitrógeno, por lo que la relación óptima de estos dos elementos en la materia prima se considera en un rango de 30:1 hasta 20:1. La descomposición de materiales con alto contenido de carbono, superior a 35:1, ocurre más lentamente, porque la multiplicación y desarrollo de bacterias es bajo, por la falta de nitrógeno, pero el período de producción de biogás es más prolongado. En cambio, con una relación C/N menor de 8:1 se inhibe la actividad bacteriana debido a la formación de un excesivo contenido de amonio, el cual en grandes cantidades es tóxico e inhibe el proceso.

El proceso microbiológico no solo requiere de fuentes de carbono y nitrógeno, sino que también deben estar presentes en un cierto equilibrio sales minerales (azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, molibdeno, zinc, cobalto, selenio, tungsteno, níquel y otros menores). Normalmente las sustancias orgánicas como los estiércoles y lodos cloacales presentan estos elementos en proporciones adecuadas. Las sustancias con alto contenido de lignina no son directamente aprovechables y por lo tanto deben someterse a tratamientos previos (cortado, macerado, compostaje). En el caso de los animales, la degradación de cada uno de ellos dependerá fundamentalmente del tipo de animal y la alimentación que hayan recibido los mismos. Los valores tanto de producción como de rendimiento en gas del estiércol presentan grandes diferencias. Esto es debido al sinnúmero de factores que pueden intervenir en el proceso, que hacen difícil la comparación de resultados. El contenido de agua en estas diversas materias primas varía entre 10% a 90% del peso fresco del residuo. Los componentes orgánicos de estos residuos son variados y corresponden aproximadamente a un 50% del peso fresco, en función del contenido de agua y de las cenizas.

---

<sup>29</sup> Curso Red ReBiBiR (T) 2021- UNIDAD 4 25 03 2021 – Universidade Federal de Itajubá – Conversión energética de la biomasa – Unidad 4: Conversión bioquímica de la biomasa, biodigestión y biodiesel, fermentación, biorrefinerías, pg. 27

<b>Materia Prima</b>	<b>Lípidos (%)</b>	<b>Proteínas (%)</b>	<b>Celulosa Hemicelulosa (%)</b>	<b>Lignina (%)</b>	<b>Ceniza (%)</b>
Paja de trigo	1,10	2,10	65,45	21,60	3,53
Paja de centeno	9,62	5,42	59,95	12,70	12,31
Paja de arroz	2,35	12,26	30,51	10,61	12,55
Poroto verde	3,80	11,04	39,61	13,84	9,14
Pasto verde	8,05	4,94	57,22	9,80	19,99
Alfalfa	10,41	12,81	36,79	8,95	10,30
Hojas secas	4,01	3,47	32,78	29,66	4,68
Caña maíz		4,50	35,40	10,30	6,50
Bovino	3,23	9,05	32,49	35,57	19,66
Porcino	11,50	10,95	32,39	21,49	23,67
Aves	2,84	9,56	50,55	19,82	17,23
Equino	2,70	5,00	40,50	35,00	17,80
Ovino	6,30	3,75	32,00	32,00	25,95
Caprino	2,90	4,70	34,00	33,00	26,40

Fuente. Varnero y Arellano, 1991.

Tabla 4: Composición química de diversos residuos de origen animal y vegetal (valores promedio en base seca).<sup>30</sup>

<sup>30</sup> Manual de biogás MINENERGIA, Santiago de Chile 2011, pg. 30

Materia Prima	C (%)	N(%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)	CaO(%)	MgO (%)
<b>Excretas:</b>						
Bovino	17,4 – 40,6	0,3 – 2,0	0,1 – 1,5	0,10	0,35	0,13
Porcino	17,4 - 46,0	1,1 – 2,5	0,4 – 4,6	0,30	0,09	0,10
Caprino	35,0 – 50,0	1,0 – 2,0	0,2 – 1,5	2,30		
Equino	35,0 - 52,0	0,3 – 0,8	0,4 – 1,6	0,35	0,15	0,12
Ovino	35,0 – 46,0	0,3 – 0,6	0,3 – 1,0	0,15	0,33	
Conejos	23,0 - 35,0	1,0 – 1,9	0,9 – 1,8	2,10	0,45	0,15
Aves	28,0 – 35,0	1,4 – 2,0	2,0 – 2,8	1,40	0,80	0,48
Patos	29,0 - 41,0	0,6 – 0,8	1,0 – 1,5	0,40	0,80	
Pavos	17,4 – 41,0	0,6 – 0,8	0,5 - 0,8	1,10	0,80	
Humanas	2,5	0,8 – 1,0	0,5	0,30		
<b>Mezclas:</b>						
Porcino+paja	20,0 – 22,0	0,3 – 0,5	0,24	0,63	0,20	
Bovino+paja	44,0 – 46,0	0,3 – 0,5	0,79	1,55	0,30	
<b>Rastrojo:</b>						
Caña maíz	30,0 – 40,0	0,8 – 1,8	0,4 – 0,6	2,40	0,50	0,49
Paja de trigo	16,0 – 46,0	0,53	0,70	0,40	0,26	0,16
Paja de avena	22,0 – 29,0	0,53	0,40	0,30	0,40	
Paja cebada	58,0	0,64	0,19	1,07	0,33	0,33
Paja arroz	40,0 – 42,0	0,64	0,60	0,40	0,60	
Paja haba	28,0 – 33,0	1,5 – 1,9	0,40	2,30	1,35	
Tomate	27,0 – 30,0	2,60				
Papas	30,0	0,34	0,16	0,58	0,64	
Betarraga	30,0	2,00	0,70	5,30	1,95	0,83
Rabanitos	30,0	2,50				
Hojas secas	35,0 – 40,0	1,00	0,30	0,20	2,00	
Aserrín	44,0	0,06	0,01	0,01		

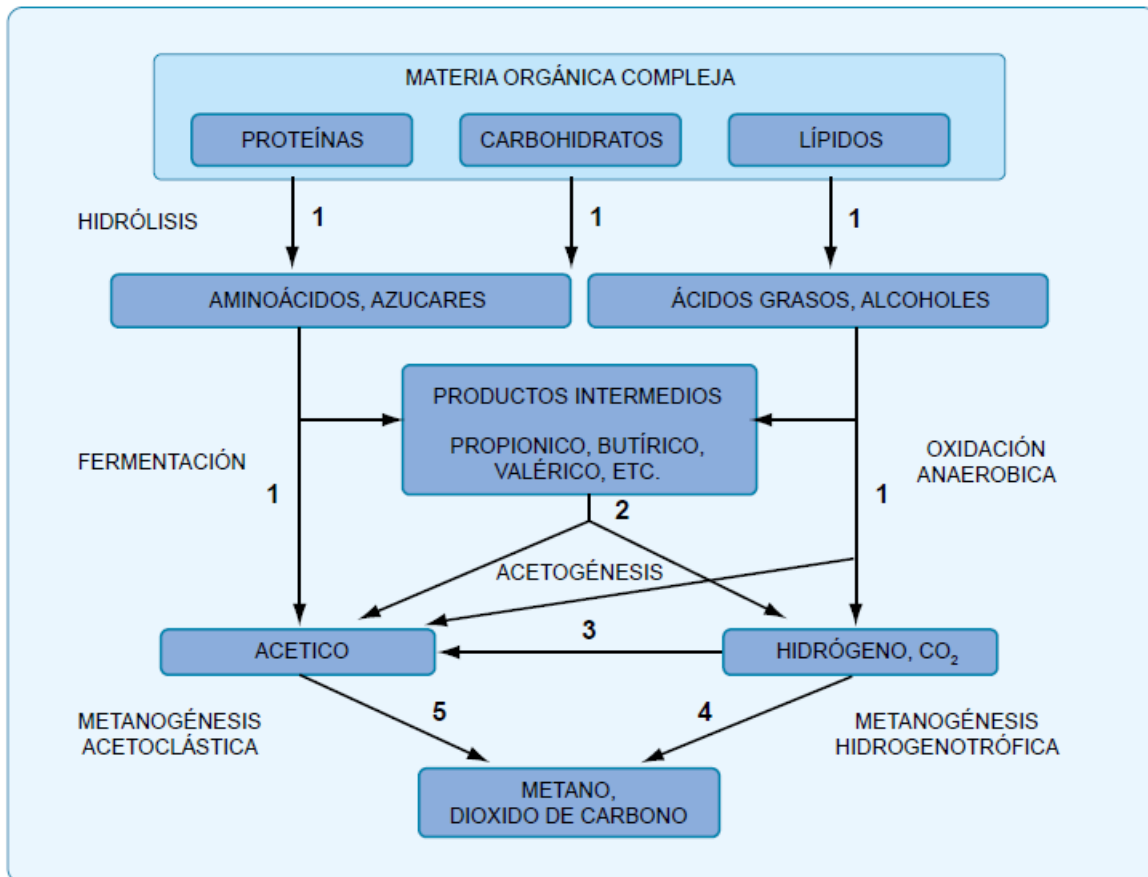
Fuente: Varnero y Arellano, 1991.

Tabla 5: Rango de niveles de nutrientes en diversos residuos de origen animal y vegetal.<sup>31</sup>

Utilizando el proceso de digestión anaeróbica es posible convertir gran cantidad de residuos, estiércoles, efluentes de la industria alimentaria y fermentativa, de la industria papelera y de algunas industrias químicas, en subproductos útiles. De esta forma, los residuos orgánicos se transforman

<sup>31</sup> Manual de biogás MINENERGIA, Santiago de Chile 2011, pg. 31

completamente en biogás que abandona el sistema. Sin embargo, el biogás generado suele estar contaminado con diferentes componentes, que pueden complicar el manejo y aprovechamiento de este. Los principales productos del proceso de digestión anaerobia, en sistemas de alta carga orgánica y en mezcla completa, son el biogás y un digerido que consiste en un efluente estabilizado. El biogás es una mezcla gaseosa formada principalmente de metano y dióxido de carbono, pero también contiene diversas impurezas. La composición del biogás depende de la composición de la materia prima y del proceso de biodigestión. Cuando el biogás tiene un contenido de metano superior al 45% es inflamable.



(Pavlostathis y Giraldo-Gómez, 1991).

Los números indican la población bacteriana responsable del proceso: 1: bacterias fermentativas; 2: bacterias acetogénicas que producen hidrógeno; 3: bacterias homoacetogénicas; 4: bacterias metanogénicas hidrogenotróficas; 5: bacterias metanogénicas acetoclásticas.

Imagen 12: Esquema de reacciones de la digestión anaeróbica de materiales orgánicos poliméricos.<sup>32</sup>

<sup>32</sup> Manual de biogás MINENERGIA, Santiago de Chile 2011, pg. 20

Estiércol	Disponibilidad Kg/día*	Relación C/N	Volumen de biogás	
			m³/kg húmedo	m³/día/año
Bovino (500 kg)	10.00	25:1	0.04	0.400
Porcino (50 kg)	2.25	13:1	0.06	0.135
Aves (2 kg)	0.18	19:1	0.08	0.014
Ovino (32 kg)	1.50	35:1	0.05	0.075
Caprino (50 kg)	2.00	40:1	0.05	0.100
Equino (450 kg)	10.00	50:1	0.04	0.400
Conejo (3 kg)	0.35	13:1	0.06	0.021
Excretas humanas	0.40	3:1	0.06	0.025

Fuente: Varnero y Arellano, 1991.

\* El dato se refiere a la cantidad estimada de estiércol que es posible recolectar de todo el producto.

Tabla 6: Producción de biogás por tipo de residuo animal.<sup>33</sup>

Existen diversas opciones para la utilización del biogás. Dentro de éstas se destacan la producción de calor o vapor, generación de electricidad y combustible de vehículos. El uso más simple del biogás es para la obtención de energía térmica (calor). En aquellos lugares donde los combustibles son escasos, los sistemas pequeños de biogás pueden proporcionar la energía calórica para actividades básicas como cocinar y calentar agua. Los sistemas de pequeña escala también se pueden utilizar para iluminación. Los quemadores de gas convencionales se pueden adaptar fácilmente para operar con biogás, simplemente cambiando la relación aire-gas. El requerimiento de calidad del biogás para quemadores es bajo. Los sistemas combinados de calor y electricidad utilizan la electricidad generada por el combustible y el calor residual que se genera. Algunos sistemas combinados producen principalmente calor y la electricidad es secundaria. Otros sistemas producen principalmente electricidad y el calor residual se utiliza para calentar el agua del proceso. El biogás (CH<sub>4</sub> - CO<sub>2</sub>) no es absolutamente puro, puesto que contiene partículas y trazas de otros gases. Todas estas impurezas deben ser removidas dependiendo del tipo de utilización que tendrá el biogás. La purificación del biogás es importante por dos razones principales: (1) para aumentar el poder calorífico del biogás y, (2) cumplir los requerimientos de algunas aplicaciones de gas (motores, calderas, celdas de combustible, vehículos). Para la mayoría de las aplicaciones más simples de biogás tales como calentadores, motores de combustión interna o sistemas generadores, la remoción del CO<sub>2</sub> del biogás no es necesaria y el CO<sub>2</sub> simplemente pasa a través del quemador o motor.

La forma más eficiente de utilizar el biogás en una central de generación es produciendo cogeneración eléctrica-térmica (CHP), ya que de este modo se logran eficiencias de hasta el 90% de utilización de la energía contenida en el biogás. Los sistemas de cogeneración permiten recuperar la energía que comúnmente se pierde en forma de calor en los motores de combustión interna; la recuperación se realiza del sistema de refrigeración del motor y aceite, y de los gases de escape. En una central de biogás que produce energía eléctrica para inyectar en la red, la utilización de CHP es fundamental para recuperar parte del calor y calefaccionar el proceso de biodigestión. Normalmente,

<sup>33</sup> Manual de biogás MINENERGIA, Santiago de Chile 2011, pg. 34

un tercio del calor que se logra producir en una central CHP es utilizado para el autoconsumo del biodigestor, mientras que el resto se pierde en la atmósfera o puede usarse para algún proceso industrial.

La construcción de una planta de biogás en una zona rural se traduce en una nueva forma de utilización completa de las materias orgánicas. La recuperación de biomasa orgánica residual agrícola transforma la modalidad de utilización única en un sistema múltiple. Con la digestión anaeróbica se obtienen dos tipos de productos: uno es el biogás, utilizado principalmente como combustible y el otro, el lodo residual orgánico estabilizado, utilizado como acondicionador y/o biofertilizante de suelos. Sin embargo, la práctica de incorporar directamente al suelo constituye un manejo poco recomendable por el tiempo que éstos requieren para transformarse en compuestos asimilables por las plantas, a través de los procesos de mineralización y de humificación. La estabilización de residuos orgánicos previo a su incorporación al suelo tiene como finalidad acelerar la descomposición o mineralización primaria de subproductos y residuos orgánicos, para obtener un producto orgánico más estable biológicamente, enriquecido en compuestos húmicos y libre de patógenos. Los bioprocesos utilizados para estabilizar los residuos orgánicos se basan en una digestión de tipo aeróbica (compostaje, lombricultura) o de tipo anaeróbica (fermentación con producción de biogás). La composición química de los productos obtenidos en cada caso, compost y digerido es variable, dependiendo de la materia prima usada y del tiempo de estabilización. En general, se observa la obtención de un producto orgánico estabilizado, lo que se traduce en un fertilizante con condiciones aptas para aplicación en suelos dedicados a la producción agrícola. La calidad de cualquier material orgánico que ha sido bioprocesado, ya sea en forma aeróbica o anaeróbica, está relacionada con la estabilidad biológica y la madurez química que se alcanza, durante el desarrollo y evolución de las diferentes etapas del proceso. Esto coincide con los valores constantes obtenidos en algunos parámetros utilizados para definir el Índice de Madurez de los Compost, (Varnero et al, 2004). Este índice considera tres características esenciales:

- la relación C/N, para discriminar materiales con mayor probabilidad de inmovilizar nitrógeno;
- la estabilidad biológica, la cual excluye materiales que se encuentran en activa descomposición microbiana, porque contienen un nivel de carbono que sustenta la actividad microbiana;
- la madurez química, donde se evalúa la presencia de compuestos fitotóxicos, productos de una biodegradación que se encuentra aún en fases intermedias. En la práctica, los residuos orgánicos presentan distintas proporciones de carbono resistente a la descomposición microbiana, como la celulosa y la lignina, los que pueden ser utilizados por microorganismos específicos, como hongos, que entran en plena actividad cuando las formas lábiles de carbono se han agotado.

El proceso de digestión anaeróbica de materiales orgánicos genera dos productos: un combustible gaseoso denominado biogás y un material semilíquido denominado digerido. El digerido consiste en una mezcla de biomasa microbiana (proveniente del proceso de digestión), material no biodegradable y productos metabólicos provenientes del proceso de degradación (Al Seadi et al., 2013). Su composición rica en macronutrientes como el nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) y otros elementos esenciales para el crecimiento de las plantas, hace que el principal destino del digerido sea su uso en agricultura como fertilizante. Para poder ser utilizado en agricultura de forma segura, el digerido debe presentar ciertos criterios que garanticen su calidad (SGAyDS, 2019):

- Libre de patógenos: la higienización del digerido es necesaria para evitar riesgos a la salud humana e impactos en el ambiente por contaminación patogénica.
- Estable: la presencia de alto contenido de compuestos metabólicos biodegradables, como los ácidos orgánicos volátiles, le confiere inestabilidad microbiana. La adición al suelo de digerido inestable produce una rápida activación microbiana con la consecuente emisión de CO<sub>2</sub>, óxido nitroso y otros gases de efecto invernadero a la atmósfera y efectos negativos sobre el sistema suelo-planta (Bernal et al., 2014).
- No tóxico: los elementos potencialmente tóxicos (EPT) como algunos metales pesados, metaloides y micronutrientes, por encima de los valores límites de toxicidad, pueden tener efectos negativos en el ambiente y en la salud humana.

Desde el punto de vista de criterios de calidad que establece la norma técnica Resolución 19/2019, el contenido de nutrientes y materia orgánica no presenta valores límites. Sin embargo, la aplicación agronómica del digerido deberá estar acompañada por un plan de manejo agrícola, que considere el balance entre el aporte de nutrientes del digerido y los requerimientos del cultivo. Por ello, es importante conocer la composición nutricional del digerido, ya que una inadecuada aplicación o dosis excesivas, puede generar riesgos ambientales, incidiendo negativamente en el agua, suelo y plantas (García, 2015). El principal destino del digerido en sus distintas fracciones es su aplicación a campo para uso en agricultura. El 70% aplica el digerido líquido en terrenos propios con plan de manejo agrícola. En el caso del digerido sin separación se aplica en igual medida, tanto en terrenos propios como no propios. Se identificaron como principales barreras que dificultan el aprovechamiento del digerido, los costos de transporte, el marco legal y la falta de tecnología de postratamiento. El uso agrícola y la valorización del digerido son áreas poco exploradas en Argentina. La mayoría de las plantas de biogás instaladas se han centrado en la valorización energética del biogás, pero no en el aprovechamiento del digerido. Existe un gran desconocimiento sobre las propiedades de los digeridos a partir de distintas biomásas argentinas y sobre las variadas herramientas tecnológicas que permiten mejorar la calidad y el valor agregado del digerido. En este contexto, en el año 2020, el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, firmaron un convenio de cooperación técnica para desarrollar actividades que permitan brindar información sobre la producción, manejo y gestión de los digeridos en Argentina (CONVE 2021 23933665-APN-SABYDR#MAGYP).

La primera etapa de procesamiento del digerido es su separación, la cual permite obtener dos fracciones distintas, una fracción sólida llamada digerido sólido, y una fracción líquida llamada digerido líquido. En Argentina, en cuanto al tratamiento del digerido separado, la fracción líquida es tratada principalmente por un sistema biológico mediante lagunas (80%), en algunos casos, con más de una finalizando en una laguna aeróbica. El resto de las plantas utilizan tanque con cubierta y lecho de secado. En cuanto al digerido sólido, la mayoría no realiza ningún tratamiento (70%). El digerido es producido continuamente, sin embargo, su utilización no es continua por lo que es necesario considerar la construcción de un reservorio.

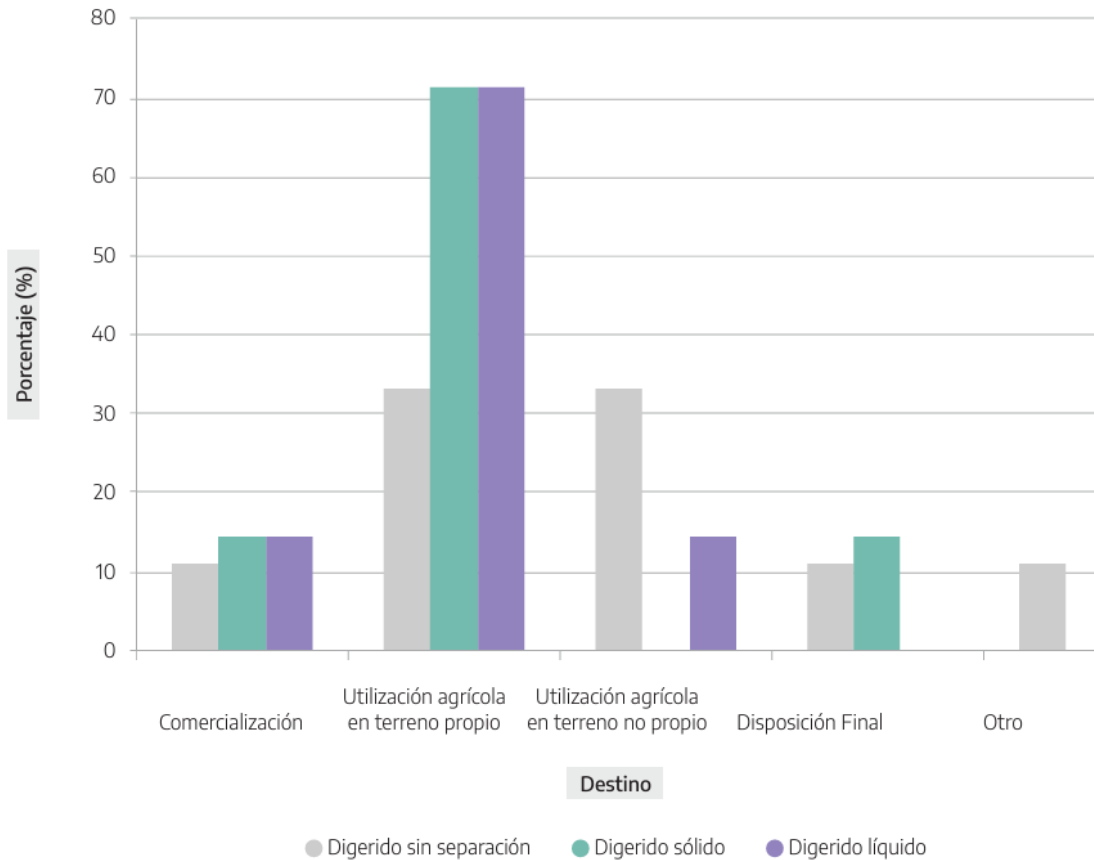


Gráfico 14: Destino del digerido sin separación, del digerido líquido y del digerido sólido.<sup>34</sup>

El digerido se aplica mayoritariamente en pasturas (41%) y en cultivos como el maíz (25%), soja (17%) y trigo (17%) y la técnica de aplicación más utilizada es sobre la superficie del suelo. La incorporación al suelo del digerido es la técnica ampliamente más recomendada y eficiente, debido a que se minimiza la contaminación y minimiza las pérdidas de nutrientes por *runoff* y volatilización (Raave et al., 2017; Crolla et al., 2013). Se estima que durante las primeras 24 h luego de realizar la aplicación, el amoníaco puede perderse entre un 10% con climas fríos y humedad elevada y hasta un 50% con condiciones cálidas y secas (Crolla et al., 2013). La incorporación del digerido al suelo inmediatamente luego de su aplicación es esencial para minimizar las pérdidas de amoníaco por volatilización. En efecto, la tecnología utilizada para la aplicación del digerido a campo resulta clave. A nivel mundial se han desarrollado maquinarias específicas que minimizan la compactación del suelo y permiten la inyección subsuperficial del digerido con un manejo adecuado de los nutrientes.

34

[https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/bioenergia/biogas/\\_archivos//000001\\_Relevamiento%20de%20Producci%C3%B3n%20de%20Digeridos%20de%20Plantas%20de%20Biog%C3%A1s%20en%20Argentina/211200\\_Relevamiento%20de%20Producci%C3%B3n%20de%20Digeridos%20de%20Plantas%20de%20Biog%C3%A1s%20en%20Argentina.pdf](https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/bioenergia/biogas/_archivos//000001_Relevamiento%20de%20Producci%C3%B3n%20de%20Digeridos%20de%20Plantas%20de%20Biog%C3%A1s%20en%20Argentina/211200_Relevamiento%20de%20Producci%C3%B3n%20de%20Digeridos%20de%20Plantas%20de%20Biog%C3%A1s%20en%20Argentina.pdf)

### 3.3. Plantas de producción de biogás, selección de sustratos y tecnologías.

Los procesos anaeróbicos, al igual que muchos otros sistemas biológicos, son fuertemente dependientes de la temperatura. La velocidad de reacción de los procesos biológicos depende de la velocidad de crecimiento de los microorganismos involucrados que, a su vez, dependen de la temperatura. La temperatura de operación del digestor es considerada uno de los principales parámetros de diseño, debido a la gran influencia de este factor en la velocidad de digestión anaeróbica. Las variaciones bruscas de temperatura en el digestor pueden gatillar la desestabilización del proceso. Por ello, para garantizar una temperatura homogénea en el digestor, es imprescindible un sistema adecuado de agitación y un controlador de temperatura. Existen tres rangos de temperatura en los que pueden trabajar los microorganismos anaeróbicos: psicrófilos (por debajo de 25°C), mesófilos (entre 25 y 45°C) y termófilos (entre 45 y 65°C), siendo la velocidad del desarrollo de los microorganismos directamente proporcional con la temperatura. Dentro de cada rango de temperatura, existe un intervalo para el cual dicho parámetro se hace máximo, determinando así la temperatura de trabajo óptima en cada uno de los rangos posibles de operación. La temperatura dentro del digestor tiene que ser uniforme para asegurar un proceso óptimo de digestión, manteniéndose sus fluctuaciones dentro del rango aceptable y evitando desequilibrios de estas en diferentes partes del digestor. Las fluctuaciones y desviaciones graves de temperatura por encima o por debajo de ciertos niveles pueden impedir el proceso de digestión o incluso hacer que se detenga por completo en el peor de los casos.



Imagen 13: Vista de una planta típica de biogás.<sup>35</sup>

<sup>35</sup> Curso: Conversión energética de la biomasa. Unidad 4: Conversión bioquímica de la biomasa, biodigestión y biodiesel, fermentación, biorrefinería. Red ReBiBir, pg. 23

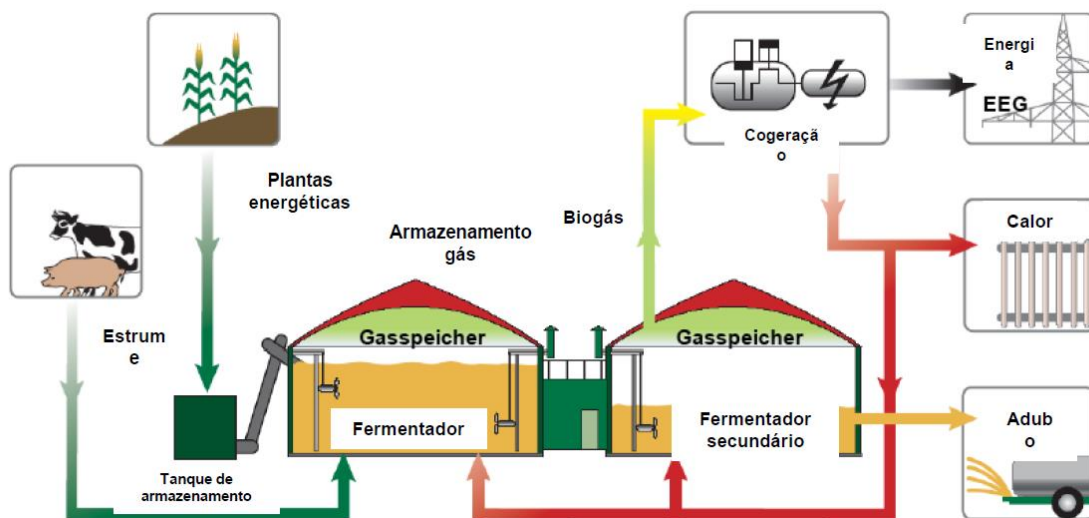


Imagen 14: Principio de funcionamiento de una planta de biogás.<sup>36</sup>

Hasta el momento, el rango psicrófilico ha sido poco estudiado y, en general, se plantea como poco viable debido al gran tamaño del reactor necesario. Sin embargo, presenta menores problemas de estabilidad que en los otros rangos de temperatura de operación. El régimen mesófilico de operación es el más utilizado, a pesar de que en la actualidad se está implementando cada vez más el rango termófilico, para conseguir una mayor velocidad del proceso, lo que implica, a la vez, un aumento en la eliminación de organismos patógenos. Sin embargo, el régimen termófilico suele ser más inestable a cualquier cambio de las condiciones de operación y presenta además mayores problemas de inhibición del proceso por la mayor toxicidad de determinados compuestos a elevadas temperaturas, como el nitrógeno amoniacal o los ácidos grasos de cadena larga. Como regla general, la actividad biológica se duplica cada incremento en 10°C dentro del rango de temperatura óptima. Para un óptimo funcionamiento del digestor, se recomienda que el tratamiento anaeróbico se diseñe para que opere con variaciones de temperatura que no excedan los 0.6 – 1.2 °C /día.

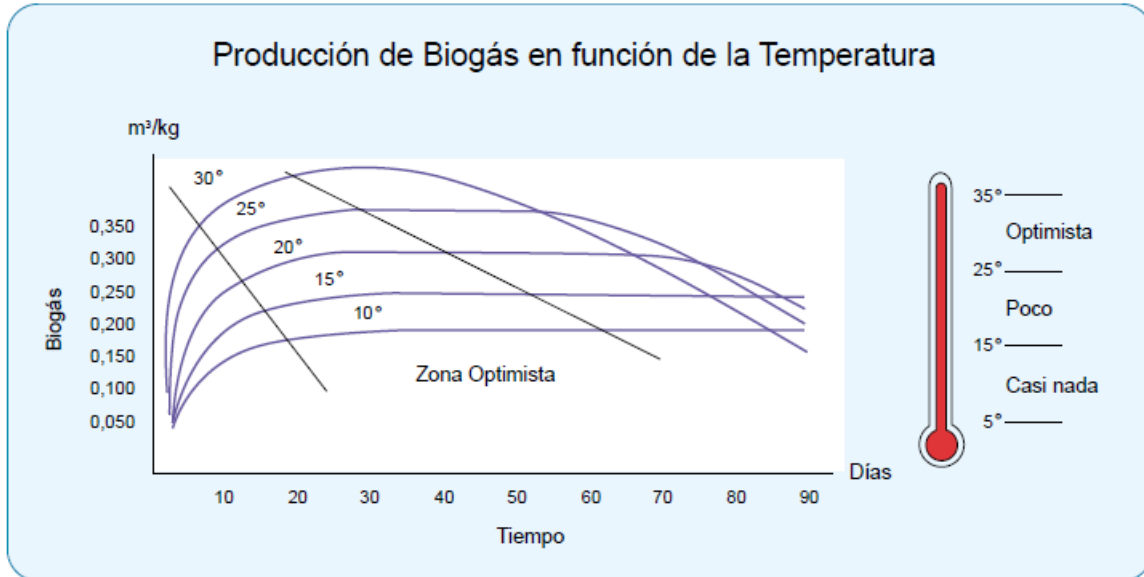
Fermentación	Mínimo	Óptimo	Máximo	Tiempo de fermentación
Psycrophilica	4-10 °C	15-18°C	20-25°C	Sobre 100 días
Mesophilica	15-20 °C	25-35°C	35-45°C	30-60 días
Thermophilica	25-45°C	50-60°C	75-80°C	10-15 días

Fuente: Lagrange, 1979.

Tabla 7: Rangos de temperatura y tiempo de fermentación anaeróbica.<sup>37</sup>

<sup>36</sup> Curso: Conversión energética de la biomasa. Unidad 4: Conversión bioquímica de la biomasa, biodigestión y biodiesel, fermentación, biorrefinería. Red ReBiBir, pg. 47

<sup>37</sup> Manual de biogás MINENERGIA, Santiago de Chile 2011, pg. 39



Fuente: Varnero, 1991

Gráfico 15: Producción de biogás en función de la temperatura.<sup>38</sup>

Además de la temperatura, otra de las variables principales a controlar durante el proceso anaeróbico es el nivel del pH, ya que pequeñas variaciones de este afectan adversamente al proceso cuando se encuentran fuera del rango óptimo. Los microorganismos metanogénicos son más susceptibles a las variaciones de pH que los otros microorganismos de la comunidad microbiana anaeróbica. Los diferentes grupos bacterianos presentes en el proceso de digestión anaeróbica presentan unos niveles de actividad óptimos en torno a la neutralidad. El óptimo es entre 5.5 y 6.5 para acidogénicos y entre 7.8 y 8.2 para metanogénicos. El pH óptimo para cultivos mixtos se encuentra en el rango entre 6.8 y 7.4, siendo el pH neutro el ideal. Para que el proceso se desarrolle satisfactoriamente, el pH no debe bajar de 6 ni subir de 8. El valor del pH en el digestor no sólo determina la producción de biogás sino también su composición. Una de las consecuencias de que se produzca un descenso del pH a valores inferiores a 6 es que el biogás generado es muy pobre en metano y, por tanto, tiene menores cualidades energéticas. Debido a que la metanogénesis se considera la etapa limitante del proceso, es necesario mantener el pH del sistema cercano a la neutralidad.

Los vínculos entre el diseño de digestores y el proceso de fermentación son muy estrechos. La fermentación del sustrato se puede lograr por procesos con mezclado completo (reactores de tanques con agitación), procesos de flujo de pistón o procesos especiales. Para los reactores con tanque de agitación se utilizan reactores cilíndricos, verticales con tanque de agitación principalmente en las plantas agrícolas para la producción de biogás. Este tipo se usa en aproximadamente el 90% de las instalaciones. El digestor consiste en un tanque con fondo de concreto y lados de acero o de concreto armado. El tanque se puede ubicar ya sea por completo o en parte bajo tierra o en superficie. La cobertura sobre el tanque es a prueba de fugas de gas, aunque las especificaciones del diseño pueden variar dependiendo de las necesidades y del modo de construcción. Las coberturas de concreto y de láminas de plástico son las más comunes. El sustrato es agitado por agitadores ubicados dentro o al lado del reactor. Las plantas de biogás con flujo de

<sup>38</sup> Manual de biogás MINENERGIA, Santiago de Chile 2011, pg. 40

pistón usan el efecto de expulsión del alimento de sustrato fresco para crear un flujo de pistón a través de un digestor de sección redonda o cuadrada. Normalmente se logra el mezclado transversal en la dirección del flujo por medio de ejes con paletas o de desviadores especialmente diseñados. En términos generales existen digestores de flujo de pistón horizontales y verticales. Prácticamente todos los digestores utilizados en plantas agrícolas son del tipo horizontal.

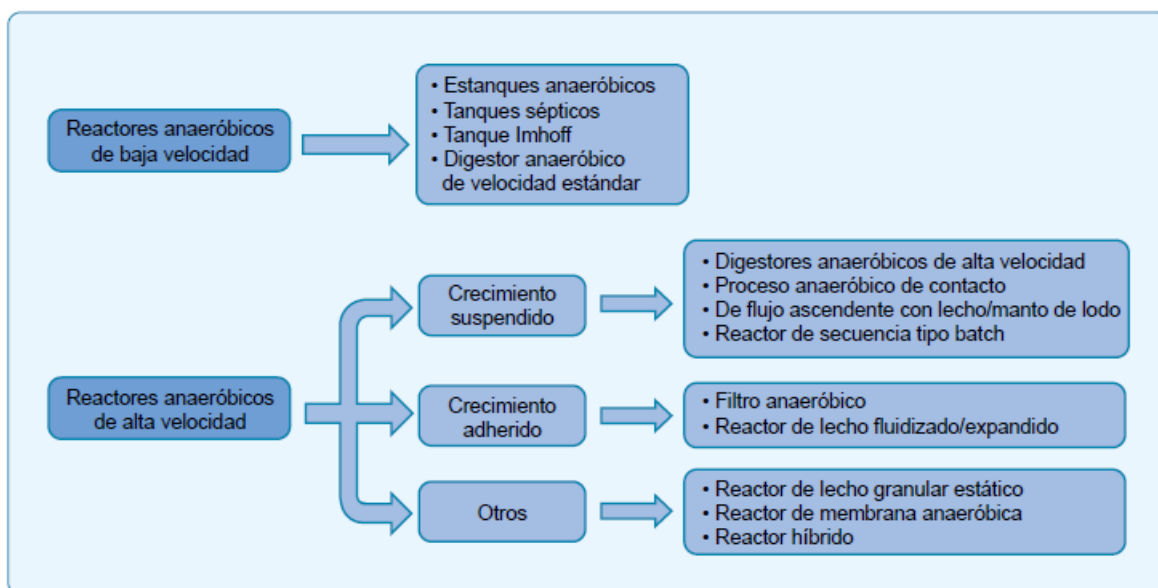


Imagen 15: Clasificación de los reactores anaeróbicos.<sup>39</sup>

### 3.4. Beneficios de la valorización de residuos orgánicos: industria arrocera y vacuna.

Al igual que el gas natural, el biogás tiene una amplia variedad de usos, pero al ser un derivado de la biomasa, constituye una fuente de energía renovable. Existen diversos beneficios derivados del proceso de conversión de residuos orgánicos en biogás. Por lo tanto, en el sector agrícola, la implementación de tecnologías de digestión anaeróbica puede permitir obtener importantes beneficios económicos, ambientales y energéticos. Por otra parte, permite una gestión mejorada de nutrientes y una reducción de la contaminación. Cuando los residuos orgánicos se someten a una degradación aeróbica, se generan compuestos de bajo poder energético como CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O. Gran parte de la energía se pierde y se libera a la atmósfera. Se estima que la pérdida de energía de un proceso aeróbico es aproximadamente veinte veces superior al de un proceso anaeróbico. En el caso de la degradación anaeróbica, se generan productos del metabolismo con alto poder energético (por ejemplo, alcoholes, ácidos orgánicos y metano), los cuales sirven como nutrientes de otros organismos (alcoholes, ácidos orgánicos), o bien son utilizados con fines energéticos por la sociedad (biogás).

Otro beneficio ambiental importante de las plantas de biogás es la significativa reducción de la presión sobre los rellenos sanitarios. De esta forma se reducen significativamente los costos de la disposición de residuos orgánicos, e incluso se obtienen subproductos con valor agregado (digerido). Además, el tratamiento anaeróbico de los residuos orgánicos contribuye a la protección de las aguas subterráneas, reduciendo el riesgo de lixiviación de nitratos. Por otra parte, la digestión anaeróbica

<sup>39</sup> Manual de biogás MINENERGIA, Santiago de Chile 2011, pg. 85

elimina el problema de emisión de olores molestos como, por ejemplo, el olor a amoníaco, producto de la acumulación de excretas y orina sin tratar. La promoción e implantación de sistemas de producción de biogás colectivos -varias granjas-, y de codigestión -tratamiento conjunto de residuos orgánicos de diferentes orígenes en una zona geográfica, usualmente agropecuarios e industriales -permite, además, la implantación de sistemas de gestión integral de residuos orgánicos por zonas geográficas, con beneficios sociales, económicos y ambientales. La digestión anaerobia se puede llevar a cabo con uno o más residuos con las únicas premisas de que sean líquidos, contengan material fermentable, y tengan una composición y concentración relativamente estable. La codigestión es una variante tecnológica que puede solucionar problemas o carencias de un residuo, si son compensadas por las características de otro.

Residuos de origen animal	estiércol, orina, guano, camas, residuos de mataderos (sangre y otros), residuos de pescados.
Residuos de origen vegetal	malezas, rastrojos de cosechas, pajas, forraje en mal estado.
Residuos de origen humano	heces, basura, orina.
Residuos agroindustriales	salvado de arroz, orujos, cosetas, melazas, residuos de semillas.
Residuos forestales	hojas, vástagos, ramas y cortezas.
Residuos de cultivos acuáticos	algas marinas, jacintos y malezas acuáticas.

Fuente: Varnero y Arellano, 1991.

Tabla 8: Origen de residuos orgánicos.<sup>40</sup>

### 3.5. Producción a escala industrial en Argentina.

El desarrollo de la generación de biogás a gran escala en la Argentina se centra en la región pampeana, fundamentalmente en zonas rurales, siendo su principal objetivo la generación de energía eléctrica. Los principales sustratos utilizados provienen de la producción agrícola-ganadera y el digerido producido se aplica en suelos agrícolas de la región. La técnica de aplicación del digerido en el suelo es mayoritariamente en superficie, sin utilización de tecnologías adecuadas que permitan la eficiente incorporación al suelo para minimizar las pérdidas de amoníaco y la contaminación. En Argentina funcionan 27 plantas de biogás industriales que transforman residuos orgánicos en energía y digeridos.

Actualmente, en el país hay más de 2400 establecimientos de feedlots, de diversos tamaños, distribuidos principalmente entre las provincias del centro del país. La distribución de los establecimientos de engorde a corral bovino con más de 1000 animales (solamente 9 superan los 10 mil bovinos) se encuentran en las provincias de Buenos Aires, La Rioja, Salta, Santa Fe y Santiago del Estero. El establecimiento con mayor cantidad de animales del país supera los 30 mil bovinos y se ubica en la provincia de Salta. Aquellos establecimientos que tienen un tamaño intermedio (entre 100 y 1000 animales) son los más numerosos y se ubican principalmente en Buenos Aires, Córdoba y Santa Fe. Mientras que los establecimientos de menor envergadura, con menos de 100 animales, se

<sup>40</sup> Manual de biogás MINENERGIA, Santiago de Chile 2011, pg. 29

encuentran dispersos en todo el territorio nacional. La potencialidad de producción de biogás a partir de los feedlot instalados en Argentina es promisoría.

Un vacuno puede excretar por día alrededor del 6 al 8% de su peso vivo, dependiendo de la digestibilidad de la dieta, así como del clima, consumo de agua y de la raza. El contenido de humedad de la excreta puede variar entre 80 a 85% (0,06 a 0,08 kg de excreta húmeda por kilogramo de peso vivo) (Chemes, 2019). En el feedlot se generan dos tipos de residuos: líquidos y sólidos. Los efluentes líquidos son generados principalmente a partir de las deyecciones en los corrales y del aporte de agua de las precipitaciones sobre la superficie del feedlot, y los residuos sólidos se encuentran constituidos principalmente por la fracción sólida del estiércol (Chemes, 2019). Los residuos generados representan un desafío ambiental y económico para el sector por su volumen y la alta densidad de animales.

En general, en nuestro país, la gestión de los residuos generados en un feedlot incluye la limpieza de los corrales en promedio cada 3 meses, con la salida de los animales o en las épocas de lluvia. Los residuos recogidos durante las salidas de los animales (tras haber alcanzado la terminación deseada) se tratan mediante un tratamiento biológico aeróbico (compostaje) o se dejan secar al aire libre en playones impermeabilizados. La remoción frecuente del estiércol exige el apilado fuera de los corrales, pero para ello se debe seleccionar un lugar de baja permeabilidad, elevado y con buen drenaje. El estiércol debe ser distribuido en capas para lograr una mayor evaporación. En las pilas de estiércol es necesario mantener la aerobiosis y el menor nivel de humedad posible para evitar que el apilado excesivo con elevada humedad genere putrefacción. Para optimizar la acción microbiana es recomendable intercalar material fibroso entre las capas de estiércol, lo cual mejora la relación carbono/nitrógeno de la mezcla.

Aunque estas alternativas de gestión de residuos son las más utilizadas a nivel nacional, el tratamiento de estos mediante un biodigestor para la generación de biogás resulta ser una opción superadora y más eficiente no solo para la generación de energía, sino también para evitar problemas ambientales y sanitarios; y, además, permitiría aprovechar el valor del digerido producido como mejorador de suelos en la actividad agrícola del propio establecimiento. La conversión potencial de estiércol bovino en biogás es de 0,03 metros cúbicos por kilogramo de sólidos totales (m<sup>3</sup>/kg ST) (Flores et al., 2009). El potencial de biogás a nivel nacional es de aproximadamente 470 millones de m<sup>3</sup>/año.

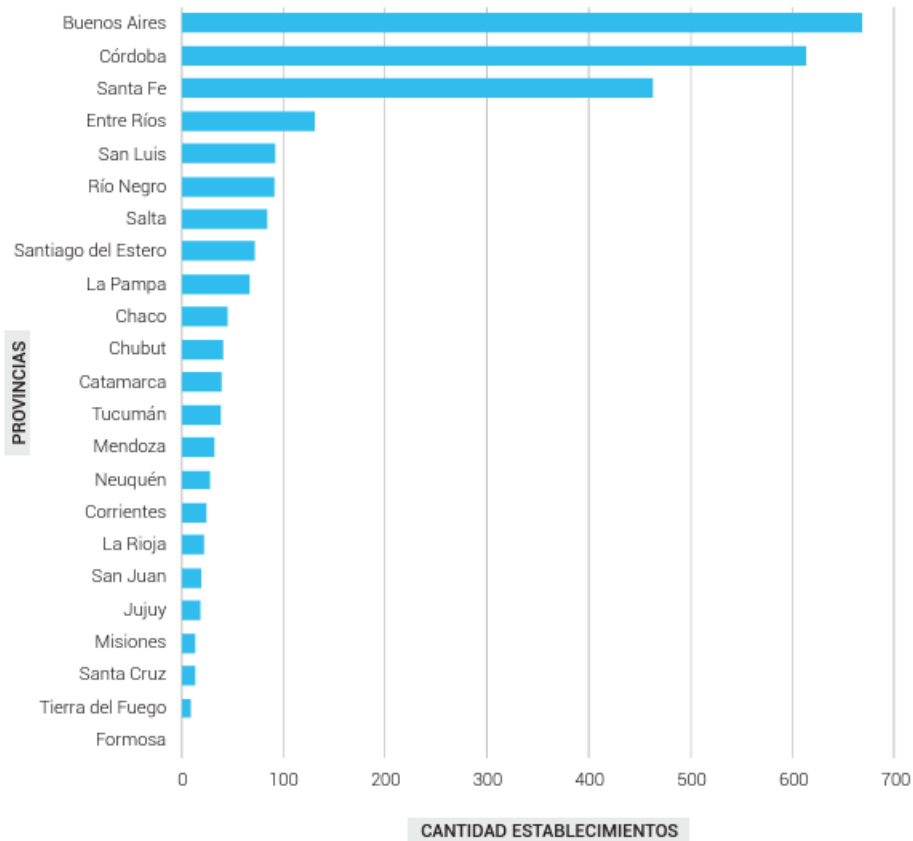


Gráfico 16: Cantidad de establecimientos de feedlots totales por provincia.<sup>41</sup>

Si bien alrededor del 70% del potencial total nacional se concentra en Buenos Aires, Córdoba y Santa Fe, el desafío de desarrollo de feedlot y biogás asociado en la provincia de Corrientes resulta complejo por la baja concentración de la actividad agroganadera en la zona.

41

[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-%20Engorde%20bovino%20a%20corral.pdf](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-%20Engorde%20bovino%20a%20corral.pdf)

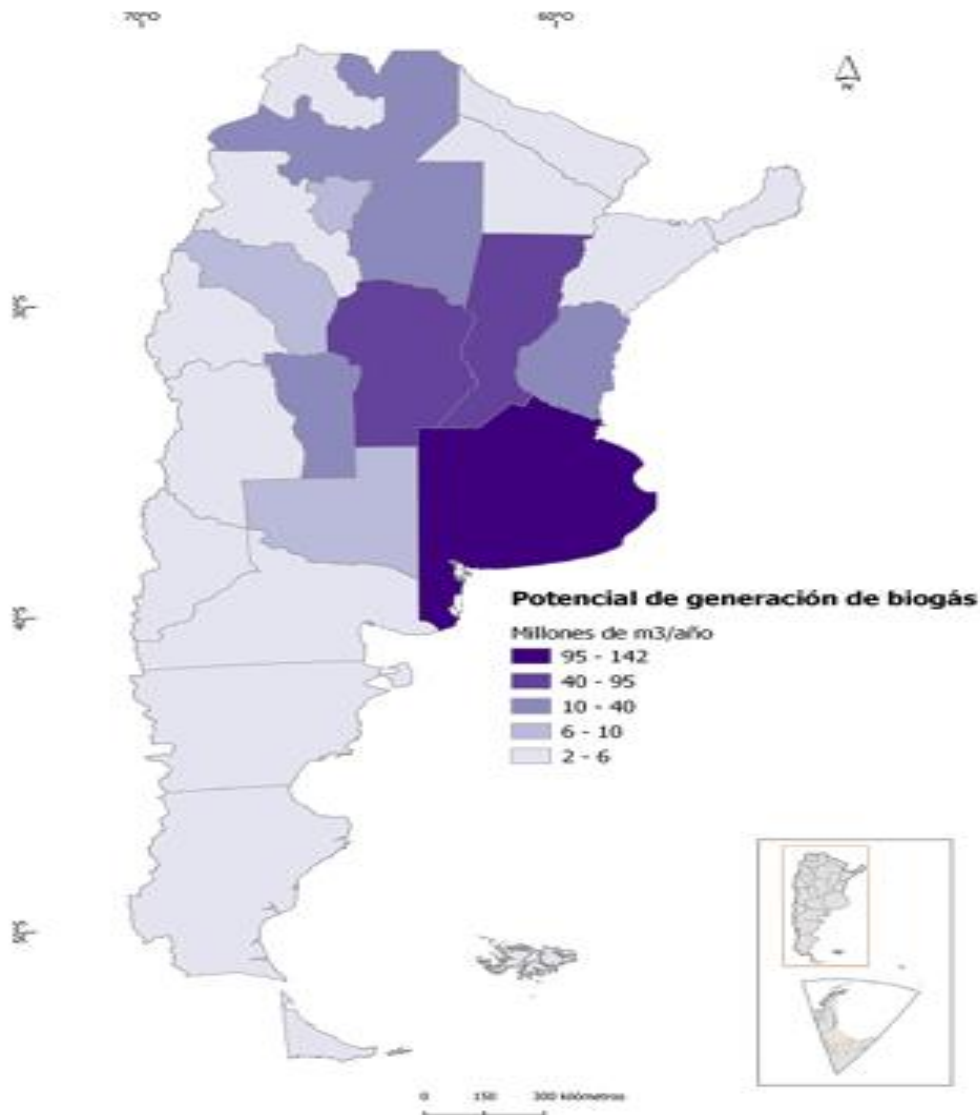


Imagen 16: Distribución del potencial de biogás a partir de biomasa residual de feedlots.<sup>42</sup>

Durante los últimos años se incrementó la generación de biogás en distintas regiones de nuestro país, debido principalmente a la implementación del Programa RenovAr por el Ministerio de Energía y Minería, en aras de aumentar la participación de las energías renovables en la matriz energética. El 90% de las plantas de biogás pertenece al sector privado y los principales objetivos identificados para la instalación de las plantas son, en orden descendente, producción de electricidad (55%), tratamiento de residuos (40%) y generación de energía para autoconsumo (5%). Los reactores de mezcla completa son los más utilizados en las plantas de biogás categorizadas como grandes con un 65%, seguido por las lagunas cubiertas con un 25% del total. El origen de la tecnología es mayoritariamente nacional (60%) y europea (20%), con la creciente tendencia de combinar

42

[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-%20Engorde%20bovino%20a%20corral.pdf](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-%20Engorde%20bovino%20a%20corral.pdf)

tecnología nacional-europea (15%) y un 5% es tecnología australiana. El material inoculante utilizado es el purín de cerdo 3 en un 55% de los casos y el resto se reparte entre estiércol bovino y lodos. Los aspectos asociados a la construcción (25%), asistencia técnica (20%) y las autorizaciones necesarias para la habilitación (20%), son las principales limitaciones en cuanto al arranque y puesta en marcha de la tecnología. Otros aspectos limitantes son los económicos, contrato de venta de energía y tecnología disponible para esta escala de producción.

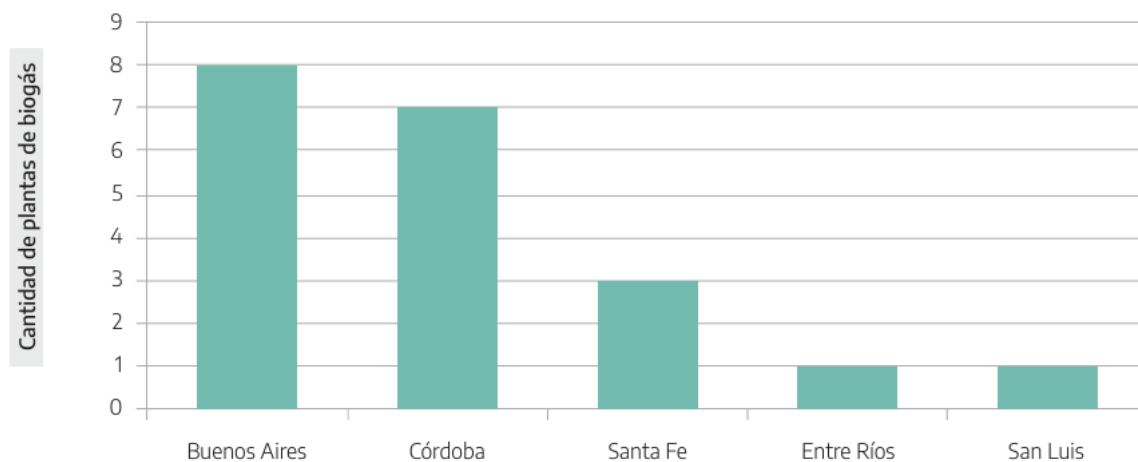


Gráfico 17: Distribución geográfica de las principales plantas de biogás en Argentina.<sup>43</sup>

Los sustratos agrícolas-ganaderos comprenden purín de cerdo, estiércol bovino y silaje de maíz; mientras que los sustratos agroindustriales incluyen destilados de maíz, efluentes de frigoríficos y residuos orgánicos industriales como chala y marlos de las plantas semilleras. Los estiércoles ganaderos como el purín de cerdo presentan características favorables (macro y micronutrientes, elevada concentración de materia orgánica biodegradable, alcalinidad, alto contenido de humedad) para ser tratados por la tecnología digestión anaeróbica. Sin embargo, el alto contenido de amoníaco puede conducir a una inhibición del proceso o bien obtener bajos rendimientos de biogás y metano (Raave et al., 2017; Drogg et al., 2015). Es por ello por lo que, los purines de cerdo y la mayoría de los estiércoles requieren el agregado de cosustratos (sustrato en menor proporción que el sustrato principal) para favorecer el proceso anaeróbico y así incrementar la producción energética y la calidad del digerido. Alrededor de un 70% de las plantas realiza procesos de codigestión (mezcla de sustrato con cosustrato). El silaje de maíz y el estiércol bovino son los cosustratos predominantes. Ambos sustratos presentan características favorables para ser utilizados como cosustratos, debido principalmente a su alto contenido de carbono y bajo contenido de nitrógeno que permiten balancear la relación C/N del sustrato principal en el proceso anaeróbico (Holm-Nielsen et al., 2009). Además, el silaje de maíz es una biomasa accesible y de gran disponibilidad, asociada a los sistemas productivos ganaderos.

43

[https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/bioenergia/biogas/\\_archivos//000001\\_Relevamiento%20de%20Producci%C3%B3n%20de%20Digeridos%20de%20Plantas%20de%20Biog%C3%A1s%20en%20Argentina/211200\\_Relevamiento%20de%20Producci%C3%B3n%20de%20Digeridos%20de%20Plantas%20de%20Biog%C3%A1s%20en%20Argentina.pdf](https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/bioenergia/biogas/_archivos//000001_Relevamiento%20de%20Producci%C3%B3n%20de%20Digeridos%20de%20Plantas%20de%20Biog%C3%A1s%20en%20Argentina/211200_Relevamiento%20de%20Producci%C3%B3n%20de%20Digeridos%20de%20Plantas%20de%20Biog%C3%A1s%20en%20Argentina.pdf)

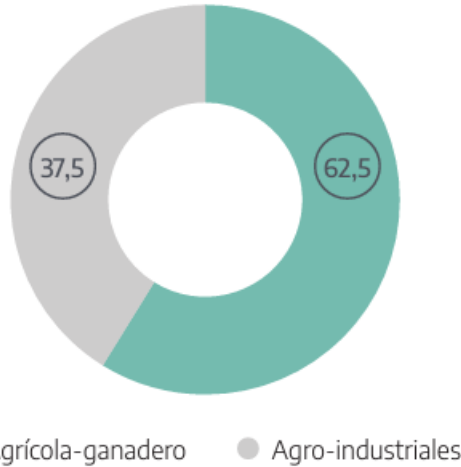


Gráfico 18: Origen del sustrato principal de las plantas de biogás.<sup>44</sup>

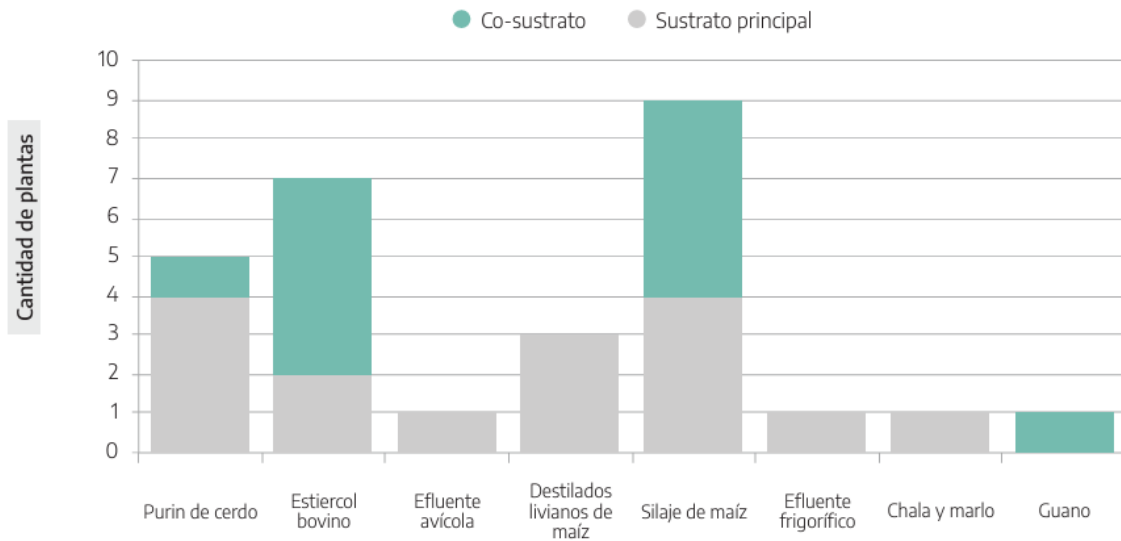


Gráfico 19: Sustratos y cosustratos más utilizados en las plantas de biogás.<sup>45</sup>

El análisis de la procedencia del sustrato mostró que un 55% proviene de fuente interna, es decir generado dentro del propio establecimiento o sistema de producción. Un 37% proviene de fuentes externas, donde los sustratos son generados por otros sistemas de producción. Un 26% de los casos de procedencia externa, compran el sustrato y el resto lo adquiere por donación. Respecto al flujo de

<sup>44</sup>

[https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/bioenergia/biogas/\\_archivos//000001\\_Relevamiento%20de%20Producci%C3%B3n%20de%20Digeridos%20de%20Plantas%20de%20Biog%C3%A1s%20en%20Argentina/211200\\_Relevamiento%20de%20Producci%C3%B3n%20de%20Digeridos%20de%20Plantas%20de%20Biog%C3%A1s%20en%20Argentina.pdf](https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/bioenergia/biogas/_archivos//000001_Relevamiento%20de%20Producci%C3%B3n%20de%20Digeridos%20de%20Plantas%20de%20Biog%C3%A1s%20en%20Argentina/211200_Relevamiento%20de%20Producci%C3%B3n%20de%20Digeridos%20de%20Plantas%20de%20Biog%C3%A1s%20en%20Argentina.pdf)

<sup>45</sup>

[https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/bioenergia/biogas/\\_archivos//000001\\_Relevamiento%20de%20Producci%C3%B3n%20de%20Digeridos%20de%20Plantas%20de%20Biog%C3%A1s%20en%20Argentina/211200\\_Relevamiento%20de%20Producci%C3%B3n%20de%20Digeridos%20de%20Plantas%20de%20Biog%C3%A1s%20en%20Argentina.pdf](https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/bioenergia/biogas/_archivos//000001_Relevamiento%20de%20Producci%C3%B3n%20de%20Digeridos%20de%20Plantas%20de%20Biog%C3%A1s%20en%20Argentina/211200_Relevamiento%20de%20Producci%C3%B3n%20de%20Digeridos%20de%20Plantas%20de%20Biog%C3%A1s%20en%20Argentina.pdf)

alimentación de las plantas, la mayoría de las plantas trabajan en condición de flujo continuo (alimentación diaria). En lo que respecta a la temperatura, casi el 80% de las plantas trabaja en el rango mesofílico, en concordancia con la tendencia mundial. En cuanto a los tipos de calefacción, predominan los sistemas de calefacción interna con un 72%, mientras que los sistemas de calefacción externa se utilizan en un 28%. Respecto a la agitación dentro del reactor, la totalidad de las plantas cuenta con algún sistema, siendo el de tipo mecánico el que se utiliza en un 75%, mientras que el 25% restante cuentan con sistemas de agitación por recirculación del líquido. En relación con la composición de biogás, las plantas presentan concentraciones adecuadas de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> y con bajas trazas de sulfhídrico, sugiriendo una eficiencia óptima del proceso y su potencial uso como energía eléctrica. En tal sentido, en cuanto a los usos del biogás, el 95% de las plantas realizan cogeneración.

Por último, se muestran los proyectos de biogás adjudicados dentro del Programa RenovAr para todas las rondas en el marco de las licitaciones de energías renovables en el país entre el 2016 y 2019. En total se adjudicaron 37 proyectos con una potencia media de 64.9 MW y un precio promedio ponderado de 159.7 USD/MWh. El rango de precios adjudicados fue de 118 USD/MWh y 177.85 USD/MWh. El rango de potencias adjudicadas fue de 0.72 MW y 6 MW.

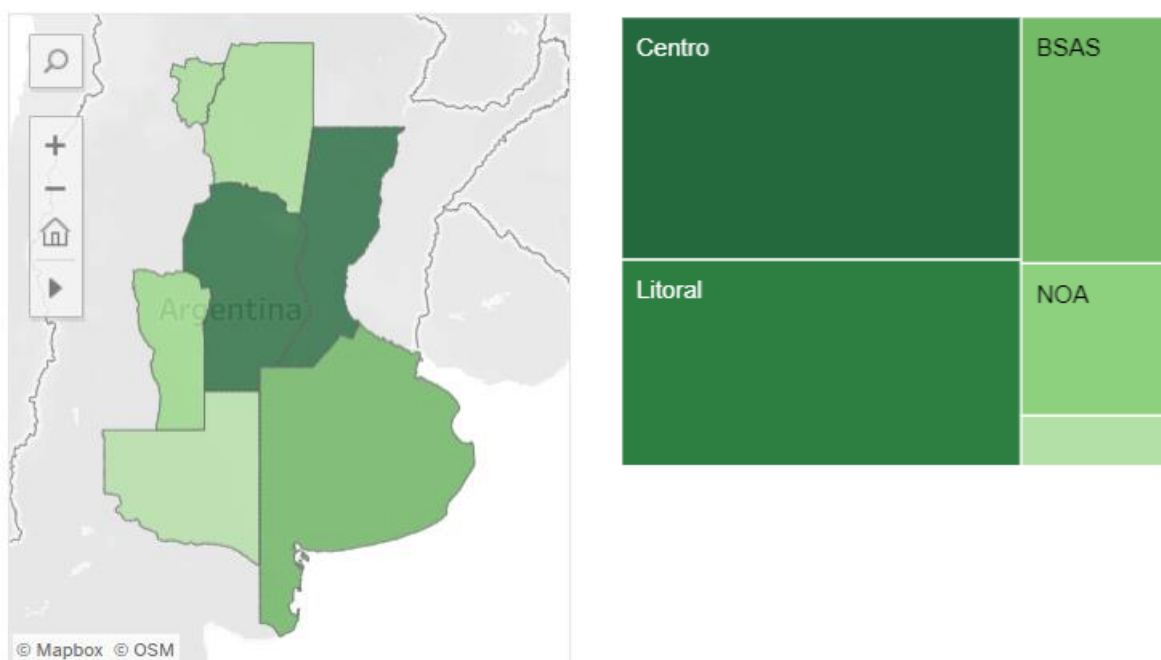


Imagen 17: Proyectos adjudicados para la tecnología biogás dentro del Programa RenovAr en todas sus rondas.<sup>46</sup>

De esta manera, demostramos la viabilidad técnica y económica de algunos de los proyectos de biogás que ya se han implementado en el país. Si bien esta industria estuvo incentivada desde el sector público y con el objetivo de generar y vender energía eléctrica a la red nacional, el medio para el tratamiento de los residuos con el objetivo de la generación de energía para consumo in situ se encuentra avalado por los proyectos presentados anteriormente.

<sup>46</sup> <http://www.minem.gob.ar/www/833/25897/proyectos-adjudicados-del-programa-renovar>

### 3.6. Consideraciones para la aplicación agrícola del digerido

La adopción de buenas prácticas y la correcta aplicación agrícola de los digeridos provenientes de plantas de digestión anaeróbicas toma como base la normativa existente en el país. Dicha normativa es la Resolución 19/2019 denominada Norma Técnica para la Aplicación Agrícola de Digerido Proveniente de Plantas de Digestión Anaeróbica. Lo que se intenta establecer son las medidas tendientes a minimizar efectos adversos en la calidad del suelo y el agua, preservando la salud humana, animal y de los servicios ecosistémicos. El digerido constituye una mezcla de materia orgánica parcialmente degradada, biomasa anaeróbica y materia inorgánica, con un alto contenido de nutrientes. La composición de nutrientes depende de las materias primas utilizadas, es decir incorporadas en el biodigestor, como así también de las variables operativas, técnicas y de diseño de los biodigestores utilizados para su producción. Dadas las características del digerido, resulta un recurso potencialmente utilizable como mejorador de la calidad del suelo y como fertilizante orgánico para los cultivos. Existen numerosos antecedentes en trabajos de investigación que mencionan mejoras producidas en las propiedades del suelo y en el rendimiento de los cultivos tras su aplicación. La calidad para su uso como fertilizante se define principalmente por su contenido de nutrientes y materia orgánica, pH, homogeneidad, pureza. Sin embargo, resulta necesario que el digerido a aplicar garantice la seguridad para los organismos vivos y el ambiente respecto a su contenido de patógenos y contaminantes químicos (orgánicos e inorgánicos). Por ello, la viabilidad de aplicación de los digeridos dependerá tanto de sus propiedades fisicoquímicas, de su estabilidad y de sus condiciones de higienización como de las características del suelo sobre el cual será aplicado. Asimismo, es de suma importancia considerar el momento y la cantidad posible de aplicaciones, las dosis y el efecto acumulativo en el suelo por sucesivas aplicaciones.

Antes de aplicar el digerido al suelo es necesario conocer sus parámetros de calidad, es decir sus características fisicoquímicas y su carga de patógenos. En tal sentido, el digerido debe cumplir con los parámetros establecidos en el Anexo V de la Norma Técnica y así determinar la factibilidad de su aplicación, evitando efectos negativos irreversibles en el medio ambiente. Entre todos los nutrientes presentes en el digerido, el nitrógeno (N) y el fósforo (P) son los elementos más importantes a tener en cuenta, ya que son utilizados para determinar la dosis de aplicación del digerido. Esto se debe a que excesos de estos nutrientes en el suelo pueden generar contaminación en aguas, suelos y en el ecosistema general. Generalmente, el digerido es apto para ser utilizado como fertilizante y mejorador de la calidad del suelo. Sin embargo, la aplicación de un digerido con contenido alto en sales solubles puede generar salinidad del suelo, incidiendo negativamente sobre su calidad y el desarrollo de los cultivos. En algunos casos este aumento de salinidad del suelo es irreversible. Asimismo, es importante considerar la estabilidad del digerido. La presencia de grandes cantidades de sustancias fácilmente degradables, como los ácidos grasos volátiles, pueden aumentar la actividad microbiológica y la demanda de oxígeno. La excesiva demanda de oxígeno por los microorganismos lleva al agotamiento de oxígeno en el suelo (anoxia), causando fitotoxicidad para los cultivos. Por otro lado, si bien la digestión anaeróbica es una alternativa viable para reducir o eliminar la carga de patógenos, es importante evaluar el contenido de estos organismos antes de la aplicación del digerido. Esta evaluación tiene como fin evitar la contaminación del suelo, el agua y el riesgo a la salud humana y animal.

El almacenamiento de los digeridos debe realizarse con el objetivo de preservar el valor y la calidad del digerido, y de atenuar las emisiones de olores u otros compuestos que tengan un impacto negativo en el ambiente o la salud humana.

En Argentina aún no se encuentra habilitada una regulación concreta para la comercialización de los digeridos obtenidos en los procesos de biometanización. Distintos sectores se encuentran trabajando hace algunos años y, así, poder avanzar con la regulación necesaria. La composición de los digeridos es variable y depende de los sustratos con los que se alimenta a la planta de biodigestión y del proceso de esta. De ello depende qué calidad de biofertilizante se obtiene y cómo se lo puede tratar y acondicionar luego. En líneas generales, los biofertilizantes contienen un 5% de nitrógeno, un 2,5% de fósforo y entre un 4% y un 5% de potasio en cuanto a su composición química. Dicha composición presenta características nutricionales más que aceptables y recomendadas para aplicar sobre los cultivos. Las aplicaciones pueden realizarse con camiones estercoleros con cisterna para la fase sólida y con un pivot de riego para la fase líquida. Por lo cual desde el punto de vista nutricional y económico resultan productos interesantes y atractivos para poder ser aprovechados y evitar su disposición final. Actualmente la principal aplicación es para autoconsumo, es decir, para aplicación sobre áreas rurales del propio generador del residuo, ya que para su comercialización aún las reglas no están del todo claras.

#### **4. CONCLUSIONES.**

El estudio de mercado realizado establece los lineamientos principales que confirman la posibilidad de aprovechar los residuos de la producción arroceras en la provincia de Corrientes, y en particular dentro del establecimiento propiedad de Yvoty Ganadera S.A., para la generación de biogás. La falta de acceso a una red de gas natural en la región genera una dependencia del gas licuado de petróleo (GLP) para el proceso de secado del arroz, lo que representa un costo significativo y una vulnerabilidad frente a variaciones de precio.

Además, según la información recopilada en este estudio, no existen expectativas de inversión a mediano plazo para extender la red de gas natural a las regiones del NEA de Argentina que hoy carecen de este suministro. No existen proyectos de gasoductos planificados, lo que refuerza la competitividad del biogás, ya que su principal competidor seguirá siendo el GLP en el futuro previsible.

La producción de biogás a partir de un sistema integrado con la actividad ganadera es una alternativa sostenible y económicamente atractiva. En la provincia de Corrientes, la ganadería tiene un rol clave en la economía regional, y los residuos de la producción de arroz, como la paja y el afrecho, pueden utilizarse para la alimentación del ganado vacuno, permitiendo su engorde en corrales. A partir de las heces generadas por estos animales, es posible producir biogás, cerrando un ciclo productivo eficiente y generando valor en distintos eslabones de la cadena agroindustrial.

Otro factor relevante es que, si bien el biogás se utilizaría principalmente para el secado del arroz después de la cosecha, durante el resto del año podría transformarse en energía eléctrica, permitiendo su aprovechamiento en otros procesos industriales, como la molienda del arroz. Esto podría ampliar las posibilidades de uso y mejora la rentabilidad del proceso continuo de generación de biogás. Por otro lado, el digerido proveniente de la planta de biogás es susceptible de ser aprovechado en la producción primaria del arroz. De esta manera se podrán valorizar todos los residuos generados dentro del establecimiento para poder vincular las actuales líneas de negocio de producción agrícola y ganadera.

Desde una perspectiva ambiental, la implementación de un sistema de generación de biogás permitiría reducir la dependencia de combustibles fósiles, disminuir la contaminación y aprovechar los residuos que de otra manera tendrían un impacto ambiental negativo.

Si bien el estudio muestra un potencial significativo, en paralelo, resulta necesario realizar un análisis más detallado sobre la inversión inicial requerida, las operaciones necesarias para los procesos productivos, la logística de recolección de los residuos, el agregado de valor del proyecto y el análisis económico y financiero para llevarlo adelante. Asimismo, el acceso a incentivos fiscales y créditos para energías renovables podría ser clave para su implementación.