



## Transformación de desechos agrícolas en energía: estado actual y potencial de Argentina\*

### *Transforming Agricultural Waste in Energy: Argentina's Current Condition and Potential*

Mariana Barreña y Patricia Knoll<sup>1</sup>

#### Resumen

Evaluamos la situación energética actual de Argentina y medimos el potencial de generación de biogás a partir de desechos de producción agropecuaria, encuadrando en las soluciones de la Economía Circular. La hipótesis que impulsa al trabajo es que en los campos se encuentra la posibilidad de diversificar la matriz energética nacional, reducir importaciones del sector energético y equilibrar esta balanza comercial. En consecuencia, a la par de ahorrar divisas, se contribuiría a la mitigación del cambio climático y al cumplimiento del compromiso internacional con la consecución del Objetivo de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas-7 de la Agenda del 2030.

**Palabras clave:** biogás, desperdicio agrícola, energía de la biomasa.

#### Abstract

This article evaluates the current energy situation in Argentina and measures the potential for biogas generation from agricultural production waste, framed within the Circular Economy solutions. The hypothesis that drives the work is that in the fields lies the possibility of diversifying the national energy matrix, reducing imports from the energy sector, and balancing this trade balance. Consequently, in addition to saving foreign currency, it would contribute to the mitigation of climate change and to the fulfillment of the international commitment to achieve the United Nations Sustainable Development Goal 7 of the 2030 Agenda.

**Keywords:** biogas, agricultural waste, biomass energy.

RECIBIDO: 12/07/2022 APROBADO: 15/02/2023 PUBLICADO 24/09/2023

---

<sup>1</sup> Mariana Barreña: Universidad de Belgrano, Buenos Aires, Argentina, ORCID 0000-0002-0931-6429, [mariana.barreña@comunidad.ub.edu.ar](mailto:mariana.barreña@comunidad.ub.edu.ar); Patricia Knoll: Universidad de Palermo, Buenos Aires, Argentina, ORCID 0000-0002-9462-0686, [patriciaknoll@hotmail.com](mailto:patriciaknoll@hotmail.com)

## **Introducción**

Se tienen dos realidades en Argentina. Por un lado, un importante faltante de energía, el cual se suple con importaciones; por el otro, debido a la tradicional explotación primaria, hay importantes desechos agrícolas-ganaderos. Históricamente, una parte se utilizaba como abono, pero hay nuevas corrientes en el mundo fomentando su utilización para generar energía.

La humanidad busca energía sostenible, atenuación del cambio climático y equilibrio en el medioambiente, y para lograr estos objetivos una vía es la transformación de los desechos ganaderos en energía. Se encuadra en las soluciones que propone el nuevo modelo de producción y consumo, denominado economía circular, donde la clave está en reducir, reutilizar y reciclar, poniendo fin a las prácticas propias de la economía lineal: extraer, producir, usar y tirar. Se cambian los costos por eliminar residuos y contaminación, por la oportunidad de convertir el desecho en recurso, generando nuevo valor y renta.

Actualmente, Argentina cuenta con programas para impulsar el desarrollo de bioenergías, pero ¿cuánto se genera hoy y cuánto se podría generar? Partiendo de dimensionar la situación actual del sector energético argentino, el objetivo de este trabajo es cuantificar la potencialidad de generación de bioenergía aprovechando residuos agropecuarios, para proyectar un futuro de menor restricción en la matriz energética y mayor sustentabilidad. Particularmente, se busca estimar la capacidad de producción de biogás utilizando biomasa proveniente de los rastrojos de las cosechas de maíz, trigo y soja, y las excretas de ganadería porcina y vacuna, de Argentina, según la producción de 2014-2020, con metodología disponible en la literatura. Para finalizar, comparamos el potencial de producción estimado con el déficit energético del país, representado por sus importaciones del periodo.

## **Economía circular**

El surgimiento de la economía circular ha significado un cambio de paradigma superador de la economía lineal, al proponer modificar la forma en que se produce y consume. En la búsqueda de aminorar el impacto ambiental de la actividad económica, la premisa es convertir los desechos en nuevos insumos, que reingresen al sistema productivo y engrosen las cadenas de valor, multiplicando la elaboración de subproductos. Así disminuye el nivel de residuos (y su impacto ambiental negativo), a la par de expandir la finitud de los recursos naturales. Gestionar los desechos orgánicos con destino a la producción de energía contribuye con la sustentabilidad del sector energético y agropecuario, conjuntamente con la soberanía energética y consecuente liberación de divisas.

Hoy el mundo enfrenta al desafío de descarbonizar su matriz energética para alcanzar la carbono-neutralidad en 2050 y mitigar el cambio climático, en el marco del Acuerdo de París 2015. El hidrógeno, la electrificación y las energías renovables son las herramientas para llevarlo adelante, donde los biocombustibles se constituyen en los instrumentos de la transición energética.

A modo de referencia, se estima que los biodigestores alimentados con estiércol animal, autosustentables en energía, reducen el 94% de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), cuando tienen almacenamiento de digerido abierto, y el 240%, si está cubierto (Hilbert y Caratori, 2021). Es claro que desarrollar la producción de biogás y biometano resulta de interés en el mundo para continuar combatiendo el cambio climático, en línea con incrementar la competitividad climática del país.

Pero el aprovechamiento de residuos para generar energía tiene otro valor, en comparación con la originada en *commodities* alimentarias, como maíz, caña de azúcar o soja, y se encuentra en aquellos no compiten con la alimentación humana. No obstante, es importante relativizar el controversial conflicto energía-alimentos, dado que la tecnología moderna volvió no excluyentes a ambos destinos. Como ejemplo, la producción de etanol de maíz arroja como subproducto los *Distillers Grains* o “burlanda”, alimento de calidad para ganadería; de manera similar, de la producción de biodiésel de soja se obtiene glicerina o glicerol, subproducto adecuado para alimentación animal.

## Energía

### *Déficit energético*

Entre 2011-2019 Argentina presenta déficit comercial energético, luego de mantener saldos positivos durante décadas. El leve repunte de 2020 se muestra más como resultado del parate industrial producto de la pandemia que por un aumento significativo del sector. La necesidad de importación de energía, sumada a un faltante sistemático de divisas, vuelve urgente analizar alternativas para un mayor desarrollo energético nacional (Gráfico 1).

**Gráfico 1.** Balanza comercial energética, en miles de millones de dólares  
*Graphic 1. Energy trade balance, in billions of dollars*



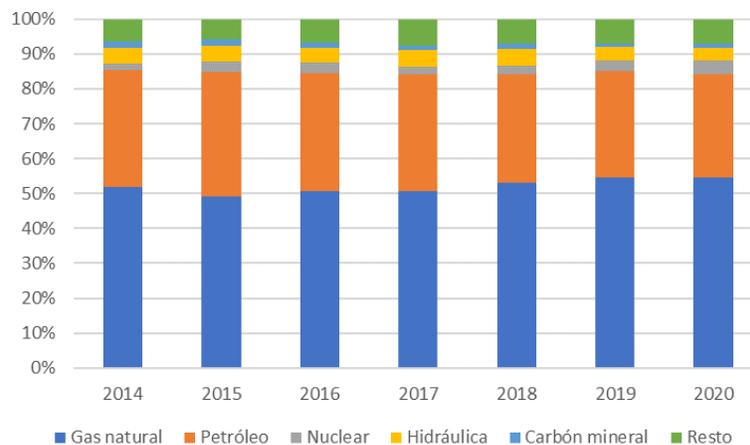
Fuente: elaboración propia a partir de INDEC (2022). Source: own elaboration from INDEC (2022).

El mayor superávit se presentó en el año 2006 superando levemente los 6.000 millones de dólares; siete años más tarde, Argentina mostró su mayor déficit energético, requiriendo divisas por casi 7.000 millones de dólares. Si bien fueron descendiendo las importaciones, aún no se vislumbra volver al autoabastecimiento energético.

### Matriz energética

El 85% de la matriz energética argentina está conformada por combustibles fósiles, situación que muestra limitaciones no solo por la dependencia de un único recurso, sino además desde lo ecológico. El mundo se está inclinando crecientemente por bajar los niveles de contaminación y comenzar a utilizar energías “limpias”, destacando las eólicas, solares y bioenergías. Dados los datos del Gráfico 2, Argentina debe diversificar su matriz energética para disminuir la dependencia del petróleo y gas natural, constituyéndose en un objetivo primordial. Firmó el Acuerdo de París, reforzando su compromiso con el cambio climático, debiendo contribuir a reducir los GEI en un 15% para 2030, lo que se conoce como Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC, siglas en inglés), para lo que se requiere tener al menos un 20% de energías renovables hacia 2025. En 2020 se reformularon las NDC al compromiso de no superar los 358,8MTCO<sub>2</sub>e de GEI para 2030.<sup>2</sup>

**Gráfico 2.** Oferta interna primaria de energía, 2014-2020  
*Graphic 2. Primary internal energy supply, 2014-2020*



Fuente: elaboración propia a partir de Secretaría de Energía (2022).  
Source: own elaboration from Secretaría de Energía (2022).

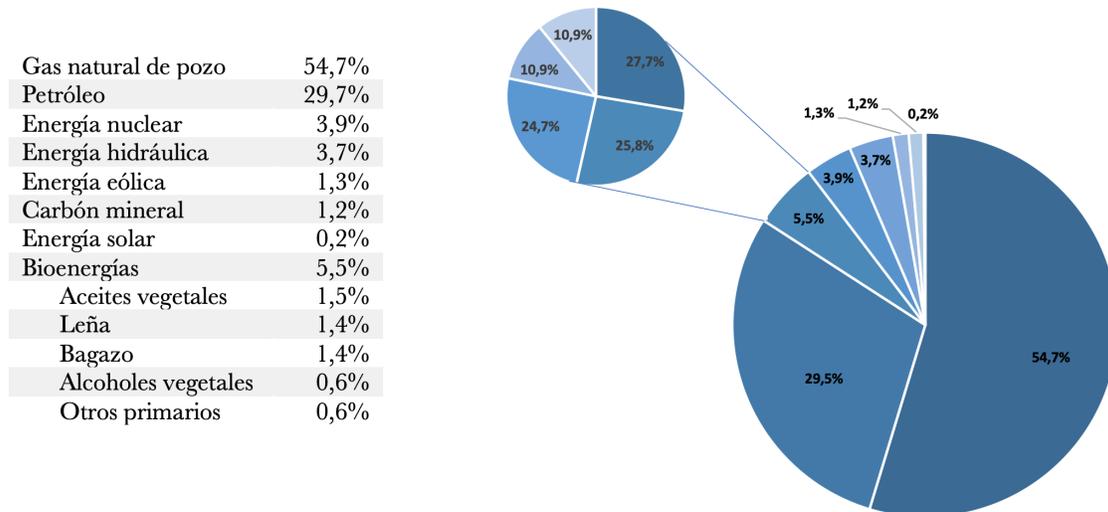
Se puede observar en el Gráfico 3 cómo durante el año 2020 el gas natural de pozo ocupó más del 50% de la oferta interna primaria,<sup>3</sup> seguido del petróleo. Considerando

2 MTCO<sub>2</sub>e: millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente.

3 Energía primaria involucra las fuentes de energía en estado propio que se extraen de los recursos naturales de manera directa (hidráulica, eólica y solar), mediante un proceso de prospección, exploración y explotación (petróleo y gas natural) o bien mediante recolección (leña) (Secretaría de Energía, 2016).

el gas y petróleo no convencionales, Argentina posee la segunda reserva de gas mundial (detrás de China) y la cuarta de petróleo. Dichos recursos están principalmente en Vaca Muerta, aunque actualmente no están explotados en su totalidad. Existen varios proyectos y licitaciones para su ejecución y el gobierno busca reactivarlos, aspirando a tener operativo un gasoducto en 2023.

**Gráfico 3.** Oferta interna primaria de energía, 2020  
*Graphic 3. Primary internal energy supply, 2020*



Fuente: elaboración propia a partir de Secretaría de Energía (2022).  
 Source: own elaboration from Secretaría de Energía (2022).

Si nos enfocamos en las bioenergías,<sup>4</sup> podemos ver que, acumuladas, se encuentran segundas en la oferta interna, principalmente de los aceites vegetales, seguido de cerca por leña y bagazo.

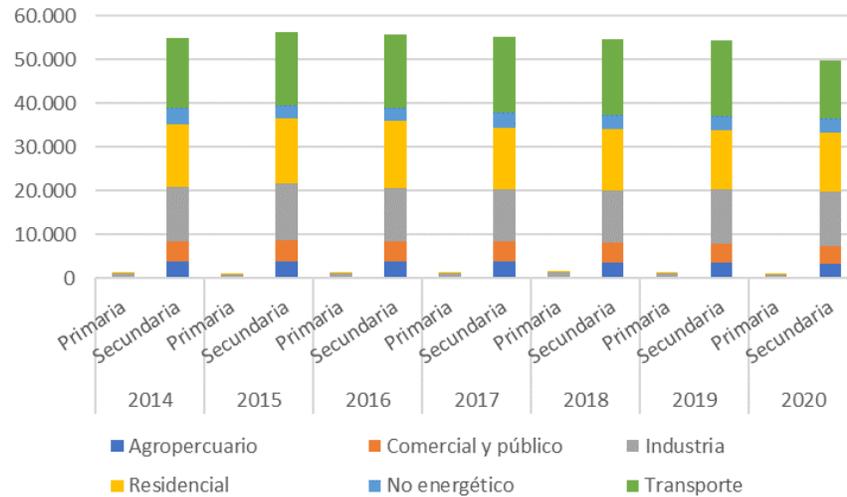
Al analizar el consumo de energía (Gráfico 4), podemos observar que se centra en la energía secundaria.<sup>5</sup> Su consumo total estuvo en torno a 55.000kTEP,<sup>6</sup> exceptuando el año 2020, cuando se observa una caída significativa por la pandemia.

4 Bioenergía es aquella la generada a partir de combustibles biomásicos, que son materia orgánica de origen no fósil (FAO, 2020).

5 Energía secundaria es aquella generada con energía primaria o secundaria en diferentes centros de transformación, para su consumo.

6 Valor de referencia unificado correspondiente a kilotonelada equivalente de petróleo.

**Gráfico 4.** Consumo final de energía primaria y secundaria por sector, 2014-2020  
*Graphic 4. Final consumption of primary and secondary energy by sector, 2014-2020*



Fuente: elaboración propia a partir de Secretaría de Energía (2022).  
 Source: own elaboration from Secretaría de Energía (2022).

Analizando la energía primaria, el sector con mayor consumo es el industrial, demandando más del 70% de la oferta. Pero cuando se analiza la secundaria, el sector transporte es históricamente el principal (oscilando en el 30%) seguido por el sector residencial que representa entre 25-30%, en tanto el sector industrial está en tercer lugar, pero no muy lejos de los otros, demandando cerca del 20%.

### **Bioenergías generadas**

Argentina cuenta con gran cantidad de recursos biomásicos distribuidos por todo el país, que constituyen una fuente de energía confiable, ecológica y renovable. La bioenergía se puede utilizar con diversos fines, ya sea calefacción, para la industria o el transporte. Actualmente, representa cerca del 9% de la energía primaria de la matriz energética mundial (Secretaría de Energía, 2016).

Entre los principales biocombustibles producidos por Argentina destacan el biodiésel de aceite de soja y bioetanol de maíz y caña de azúcar. Su participación en la oferta interna de energías secundarias se mantuvo prácticamente constante durante los últimos años, mostrando una caída en 2020 por la pandemia; cada uno representa el 0,6%.

Se cuenta con 19 plantas de bioetanol; más del 70% se realiza con caña de azúcar y el resto con maíz. En el año 2018 la capacidad instalada era de 950.000tn/año. En el noroeste del país se encuentran las plantas que utilizan caña de azúcar, y el resto en la región pampeana (MAGyP, 2020). Córdoba es la provincia de mayor producción, con casi el 40% del producto, siendo ACA-Bio Cooperativa LTDA la más importante, seguida por Promaíz S.A. Ambas utilizan maíz como materia prima (Bolsa de Comercio de Rosario, 2020).

En cuanto al biodiésel, Argentina tiene una oferta más desarrollada, pues su producción más que duplica a la de bioetanol (Tabla 1). La capacidad instalada actual es de 4,5 millones de toneladas (MAGyP, 2020). Exporta alrededor de 1,4 millones de toneladas con destinos heterogéneos, destacando Estados Unidos, Países Bajos y, recientemente, Malta.

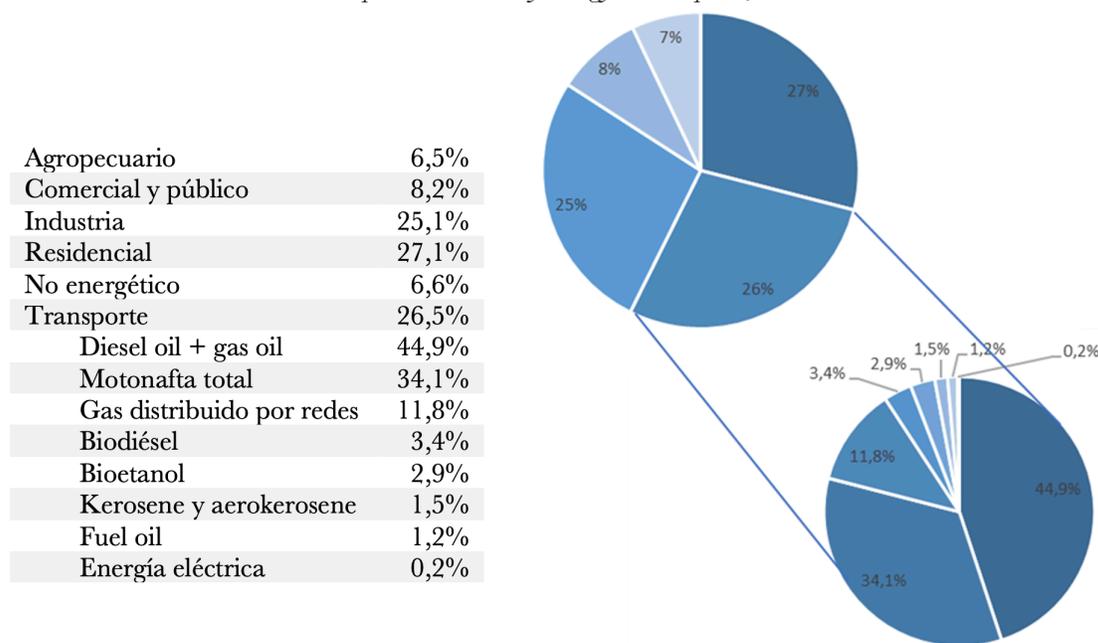
**Tabla 1.** Participación porcentual del bioetanol y biodiésel en la oferta interna secundaria  
*Table 1. Percentage share of bioethanol and biodiesel in the secondary internal supply*

	Biodiesel	Bioetanol
2014	1,08%	0,42%
2015	1,10%	0,50%
2016	1,13%	0,56%
2017	1,28%	0,67%
2018	1,25%	0,69%
2019	1,35%	0,72%
2020	0,64%	0,56%

Fuente: elaboración propia a partir de Secretaría de Energía (2022).  
 Source: own elaboration from Secretaría de Energía (2022).

Durante el año 2020, el total del biodiésel y bioetanol se destinó al transporte, pero aún no es significativo; apenas representó el 3,4 y 2,9% del total insumido por el sector (Gráfico 5).

**Gráfico 5.** Consumo de energía secundaria, 2020  
*Graphic 5. Secondary energy consumption, 2020*



Fuente: elaboración propia a partir de Secretaría de Energía (2022).  
 Source: own elaboration from Secretaría de Energía (2022).

## **Producción de biogás**

Con la firma del Acuerdo de París contra el Cambio Climático, Argentina se comprometió a reducir los GEI. Ello trae aparejado la incorporación de energías renovables a su matriz energética, motivo por el cual se dictaron diversas leyes.

La primera Ley de Biocombustibles sancionada en Argentina es la n° 26.093/2006, fijando un corte del 5% de biocombustibles en los fósiles. En 2016 la Resolución MINEM 27/2016 lo elevó al 10% para biodiésel en gasoil y 12% para bioetanol en nafta. Vencida la ley 26.093 y su prórroga, en agosto de 2021 se sancionó la segunda Ley de Biocombustibles, n° 27.640, con vigencia hasta el 31 de diciembre de 2030, que vuelve al corte obligatorio del gasoil con 5% de biodiésel. La autoridad de aplicación puede elevar el corte, pero también disminuirlo hasta el 3% por razones económicas y de mercado (por incremento del precio de los insumos básicos del biodiésel o por escasez del bioinsumo), lo que resulta novedoso. Adicionalmente, disminuir el corte va en detrimento del cumplimiento de los compromisos internacionales asumidos en materia ambiental.

En ese sentido, Hilbert y Caratori (2021) midieron el impacto global en emisiones de GEI por la reducción del corte al 5% y 3%, en dos sentidos:

1. Emisiones acumuladas 2021-2030 en el inventario de emisiones de GEI de Argentina: 7,9MTCO<sub>2</sub>e con el corte al 5% y 11,7MTCO<sub>2</sub>e con el corte al 3%, respecto del corte anterior y de lo declarado por Argentina en el Plan de Acción Nacional sobre Energía y Cambio Climático (PANeCC; se desarrolló en 2017 y revisó en 2019, para organizar el cumplimiento de las NDC).
2. Reducción neta de emisiones de GEI en 2030 de 2,8MTCO<sub>2</sub>e con corte de bioetanol al 12% o de 1,4MTCO<sub>2</sub>e con corte de biodiésel al 5%; si el corte fuera del 3% las reducciones de emisiones al año 2030 serían 1,96MTCO<sub>2</sub>e.

En junio de 2022, con la resolución 438 y el decreto 330 se volvió a extender el corte de biodiésel para el gasoil al 12,5% (5p.p. en forma transitoria), nivel en el que permanece actualmente.

El biogás<sup>7</sup> es de las energías que más está creciendo en el mundo, por sus numerosas externalidades positivas. Según la European Biogas Association (EBA, 2020), en 2018-2020 la cantidad de plantas de producción de biometano se duplicaron en Europa, siendo Alemania el país que posee la mayor cantidad, seguido por Francia y luego, Reino Unido.

En Argentina, participa en no más del 4% de la generación eléctrica por fuente renovable. Hasta el año 2016, la generación se concentraba en Buenos Aires, luego se incorporaron Córdoba, San Luis y Santa Fe; por último, en 2019 comenzó la producción en Tucumán, pero es menor. La mayoría de estas nuevas plantas son el resultado del programa RenovAr, de abastecimiento de energía eléctrica renovable (CAMMESA, 2022) (Tabla 2 y Gráfico 6).

---

7 Se denomina biogás al gas combustible que se genera a causa de las reacciones de biodegradación de la materia orgánica.

**Tabla 2.** Generación neta porcentual de energía eléctrica de fuentes renovables, por tecnología, 2014-2020

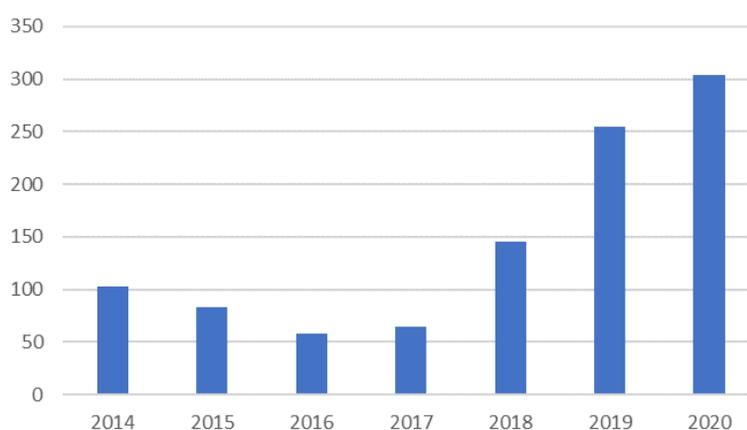
*Table 2. Percentage net generation of electrical energy from renewable sources, by technology, 2014-2020*

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Biomasa	5%	8%	7%	9%	8%	4%	3%
Eólico	27%	24%	21%	23%	42%	64%	74%
Hidráulica <= 50MW (TOT)	63%	65%	69%	64%	43%	19%	10%
Solar	1%	1%	1%	1%	3%	10%	11%
Biogás	4%	3%	2%	2%	4%	3%	2%

Fuente: elaboración propia en base a CAMMESA (2022). Source: own elaboration based on CAMMESA (2022).

**Gráfico 6.** Energía generada con biogás en GWh, 2014-2020

*Graphic 6. Energy generated with biogas in GWh, 2014-2020*



Fuente: elaboración propia en base a CAMMESA (2022). Source: own elaboration based on CAMMESA (2022).

La Secretaría de Energía nacional informa el listado de plantas de producción de energía renovable en operación, con once empresas conectadas al Sistema Interconectado Nacional (SIN) que tienen adjudicada la venta de una potencia total de 37,22MW/h a partir de la generación de biogás (Secretaría de Energía, 2022). El 54% corresponde a empresas ubicadas en Buenos Aires, alimentadas con relleno sanitario; el resto se distribuye entre plantas ubicadas en Santa Fe (20%), Córdoba (15%), Tucumán (8%) y San Luis (3%), todas alimentadas por residuos de cosecha, estiércol, maíz y subproductos de bioetanol, vinaza de caña de azúcar. Surgieron de los programas Renovar Ronda-1 (2016) y Ronda-2 (2017) o Generación Renovable Existente (GENREN), programa iniciado en 2009. Las empresas proveedoras son (Secretaría de Energía, 2022):

- Industrias Juan F. Secco S.A. – Proyecto C.T. Avellaneda (RenovAr Ronda-1). Santa Fe: 6,00MW/h. Materia prima: *thin stillage* (co-producto de las plantas de bioetanol), harina de maíz y glicerina.
- Biomass Crop S.A. de Bioeléctrica – Proyectos: C.T. Río Cuarto I (RenovAr Ronda-1), C.T. Río Cuarto II (RenovAr Ronda-1), C.T. Ampliación Bioeléctrica Dos (RenovAr Ronda-2), C.T. Ampliación 2 Central Bioeléctrica. Córdoba: 5,6MW/h. Materia prima: silo y desechos de maíz, silo de vinaza, estiércol.

- Citrusvil – Proyecto C.T.Citrusvil. Tucumán: 3MW/h. Materia prima: residuos de la producción de frutas frescas.
- Adeco Agro – Proyecto C.T.San Pedro Verde. Santa Fe: 1,42MW/h. Materia prima: estiércol animal y cultivos energéticos.
- Establecimientos Yanquetruz-Asociación de Cooperativas Argentinas – Proyecto C.T.Yanquetruz. San Luis: 1,20MW/h. Materia prima: purín de cerdo, forrajes de maíz y sorgo.

Dichos proyectos son los únicos en funcionamiento, de los seis adjudicados en la Ronda-1 (sumando 8,6MW/H) y los 31 adjudicados en la Ronda-2 (por un total de 43MW/h). Hay tres proyectos a partir de relleno sanitario (provincia de Buenos Aires, por 13,2MW/h) de los cuales solo uno está operativo (potencia de 5MW/h, de Industrias Juan F.Secco S.A. - C.T. Ensenada) (Secretaría de Energía, 2022).

## **Potencial de producción de biogás a partir de desechos agropecuarios en Argentina**

### ***Marco conceptual y metodológico***

La bioenergía proviene de biocombustibles que derivan de la biomasa, siendo así energía renovable. Biomasa es la fracción biodegradable de los productos y desechos-residuos biológicos. Por su origen, podemos clasificarla en natural, residual y cultivos energéticos (de Lucas Herguedas *et al.*, 2012). La primera es brindada por la naturaleza, sin intervención humana. La tercera está dada por los cultivos no alimentarios que se destinan a la producción de energía, como agropiro alargado, sorgo, colza etíope o cardo y caña de castilla. En la segunda se basan las estimaciones de este trabajo; la biomasa residual procede de actividades agrarias, silvicultura, pesca, acuicultura, industrias conexas, municipios (residuos sólidos urbanos, RSU, y aguas residuales urbanas, ARU), y domicilios (aceites alimentarios usados), clasificándose por su estado en secos-sólidos y húmedos-líquidos (de Lucas Herguedas *et al.*, 2012).

En particular, los residuos agrícolas están disponibles en las zonas rurales —incluso puede necesitarse removerlos, como con la cría a corral— y se constituyen en materia prima cuyo costo es el de recolección, acondicionamiento y, ocasionalmente, transporte.

Ya se describieron sus ventajas ambientales y económicas; presentan como inconvenientes un menor rendimiento energético y mayores costos de producción en relación a los fósiles, sumando la necesidad de acondicionarlos para su uso (de Lucas Herguedas *et al.*, 2012; Wassner, 2018).

Desde el momento en que Argentina perdió el autoabastecimiento energético, en el año 2011, las importaciones fueron el instrumento que permitió equilibrar ese mercado. Sin embargo, había residuos agropecuarios disponibles para transformar en bioenergía, reduciendo la dependencia externa, en una nación con recurrentes crisis cambiarias.

Los biodigestores descomponen los residuos orgánicos mediante un proceso de digestión anaeróbica, convirtiendo la biomasa en energía renovable con reducción de emisión de GEI: el biogás, con destino a generación de electricidad y calor. Otro resultado es un efluente orgánico con alto potencial fertilizante, sustituto de los sintéticos: el digestato (Hilbert *et al.*, 2018). En el proceso de fermentación anaeróbica está involucrado un sistema microbiológico complejo —las bacterias que producen el biogás sobreviven solo en ausencia total de oxígeno atmosférico— que realiza la descomposición de la materia orgánica, reduciéndola a sus componentes básicos: metano (CH<sub>4</sub>) y CO<sub>2</sub>.

Se conoce como *Biogas Done Right* (BDR) o “biogás hecho correctamente” a la tecnología que aborda la generación de energía en forma integrada a los sistemas productivos (Hilbert *et al.*, 2018). Se basa en la rotación de cultivos principales-secuenciales y en el aprovechamiento de biomasa de integración (residuos agrícolas, efluentes del ganado y subproductos industriales); pertenece a la economía circular y de reciclado, aumenta del valor agregado rural, mejora el balance nutricional de los suelos, con reemplazo de fertilizantes químicos, reduce la contaminación en suelos, agua y GEI, diversificando y potenciando la matriz energética, liberando divisas de importación y elevando el empleo.

Circunscribiéndonos al potencial de producción de biogás en Argentina, a partir de rastrojos de soja, maíz y trigo, más excretas (estiércol más orina) de porcinos y bovinos, realizamos la estimación para cada origen de residuo, así como de biometano, 2014-2020; y posteriormente, calculamos la equivalencia de biogás a petróleo, nafta, gas natural, calor y electricidad.

### **Metodología de cálculo de excretas de ganado porcino**

Se realizó la estimación de generación de purines de cerdo a partir del *stock* de ganado porcino por categoría, según SENASA (2021). Aplicamos diferentes metodologías:

- Cálculo de excretas por kilogramo de peso vivo, diarias. Se identificó el peso de cada categoría de ganado y se partió del supuesto de que el volumen de excretas diario de porcinos es el 5% de su peso (Alonso-Estrada *et al.*, 2014; INTA, 2018).
- Cálculo de excretas por categoría de ganado, diarias. Se asociaron los kilogramos de excretas diarias por categoría (FAO, 2019; Maisonnave *et al.*, 2016).

### **Metodología de cálculo de biogás a partir de excretas de ganado porcino**

Se realizó la estimación de potencial de producción de biogás con excretas de porcinos, aplicando dos metodologías:

- Aplicación de la ecuación:

$$\frac{\text{Total de Excretas (kg)} * 0,12 * 450}{1000 (m^3 / \text{día})}$$

(Alonso-Estrada *et al.*, 2014). El resultado obtenido indica que la relación kilogramo de excreta porcina-metro cúbico de biogás es 0,054.

- La relación de kilogramo de excreta porcina-metro cúbico de biogás es 0,06, según FAO (Varnero Moreno y Arellano, 1990).

Los resultados obtenidos están expresados en miles m<sup>3</sup>/día y miles m<sup>3</sup>/año. Se optó por la estimación de excretas de porcinos de *Buenas Prácticas de Manejo y Utilización de Efluentes Porcinos* (Maisonnave, 2016) y de biogás de FAO (Varnero Moreno, 2011), porque el cálculo de excretas resultó similar al de la Guía para productores familiares porcinos (INTA, 2018) ambos cercanos al promedio de las cuatro fuentes. Por otra parte, para calcular el potencial se prefirió la metodología FAO a Alonso-Estrada et al. (2014), por ser la fuente más usada aquí, para los otros orígenes.

### **Metodología de cálculo de excretas de ganado bovino**

Se realizó la estimación de generación de excretas de bovino a partir del stock por categoría, según SENASA (2021). Metodología aplicada:

- Cálculo de excretas por kilogramo de peso vivo, diarias. Se identificó el peso de cada categoría de ganado y se supuso el volumen de excretas diario es el 7% del peso vivo. El peso se obtuvo por el promedio de los pesos informados por Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación (MAGyP, 2021c). Respecto del volumen de excretas, el MAGyP (2021b) aplica Chemes (2019), que indica que el ganado bovino puede excretar diariamente el 6-8% de su peso vivo.

### **Metodología de cálculo de biogás a partir de excretas de ganado bovino**

Se realizó la estimación de potencial de producción de biogás, aplicando dos metodologías:

- La conversión potencial de estiércol bovino a biogás es 0,03m<sup>3</sup> por kilogramo de sólidos totales (Flores Marco *et al.*, 2009). Esta conversión es usada por el MAGyP (2021b)
- Varnero y Arellano (1990) indican que la conversión potencial de estiércol bovino en biogás es 0,04m<sup>3</sup> por kilogramo de sólidos totales; esta conversión es presentada en el *Manual de biogás* de FAO (Varnero Moreno, 2011).

Los resultados obtenidos están expresados en miles m<sup>3</sup>/día y miles m<sup>3</sup>/año. Optamos por la conversión a biogás elegida por el MAGyP, por ser más conservadora y corresponder a la autoridad del sector (pese a que la metodología del *Manual de biogás* de FAO fue preferida aquí).

El ganado bovino es mayormente criado a campo abierto, complejizando la recolección del estiércol. Por lo tanto, se realizaron dos estimaciones, a partir del stock bovino total y solo del stock bovino-tambo (fácil recolección de excretas), para 2014-2020. Asimismo, menos del 3% del stock bovino es engordado a corral; se dispone de información del *stock* ganadero para el año 2021 exclusivamente, por lo que se hizo una estimación de producción potencial de biogás aplicando la participación por categoría de ganado engordado a corral, al *stock* promedio de bovino total de 2014-2020.

### **Metodología de cálculo de rastrojos de cultivos agrícolas**

A partir de la producción anual informada por el MAGyP (2021a) y por Bolsa de Cereales de Buenos Aires (BCBsAs, 2021), calculamos la base aérea total con el índice

de cosecha de Unkovich *et al.* (2010); los rastrojos son la diferencia entre base aérea total y producción. Fueron seleccionados soja, maíz y trigo por reunir la mayor participación en la producción.

### ***Metodología de cálculo de biogás a partir de rastrojos agrícolas***

A partir de la estimación de toneladas de rastrojos generados anualmente se calculó el potencial de producción de biogás, según una metodología:

- La relación entre la tonelada de rastrojos y el potencial de producción de biogás es:
  - Trigo: 367m<sup>3</sup> de biogás por tonelada/residuo (Varnero Moreno y Arellano, 1990). Conversión elegida por FAO (Varnero Moreno, 2011).
  - Maíz: 514m<sup>3</sup> de biogás por tonelada/residuo (Varnero Moreno y Arellano, 1990). Conversión elegida por FAO (Varnero Moreno, 2011).
  - Soja: no está disponible la conversión específica, por lo que se usó la de residuos de cosecha presentada por Hilbert *et al.* (2018), que equivale a 220m<sup>3</sup> de biogás por tonelada/residuo.

Los resultados obtenidos están expresados en mil m<sup>3</sup>/año y mil m<sup>3</sup>/día. Se eligieron las estimaciones realizadas con la base estadística de BCBsAs, por llegar hasta la campaña 2020-2021. Asimismo, no es conveniente suponer una remoción de rastrojos completa, porque cumplen funciones esenciales en la práctica agrícola, pero establecer un porcentaje de remoción óptimo uniforme no es posible, por estar condicionado a características del suelo y cultivo (Wassner, 2018); en consecuencia, se consideraron dos escenarios: remoción de residuos de cosecha del 25% y del 50%, trabajándose mayormente con el primero, por ser más conservador, aunque Hilbert *et al.* (2018) suponen el aprovechamiento del 50%.

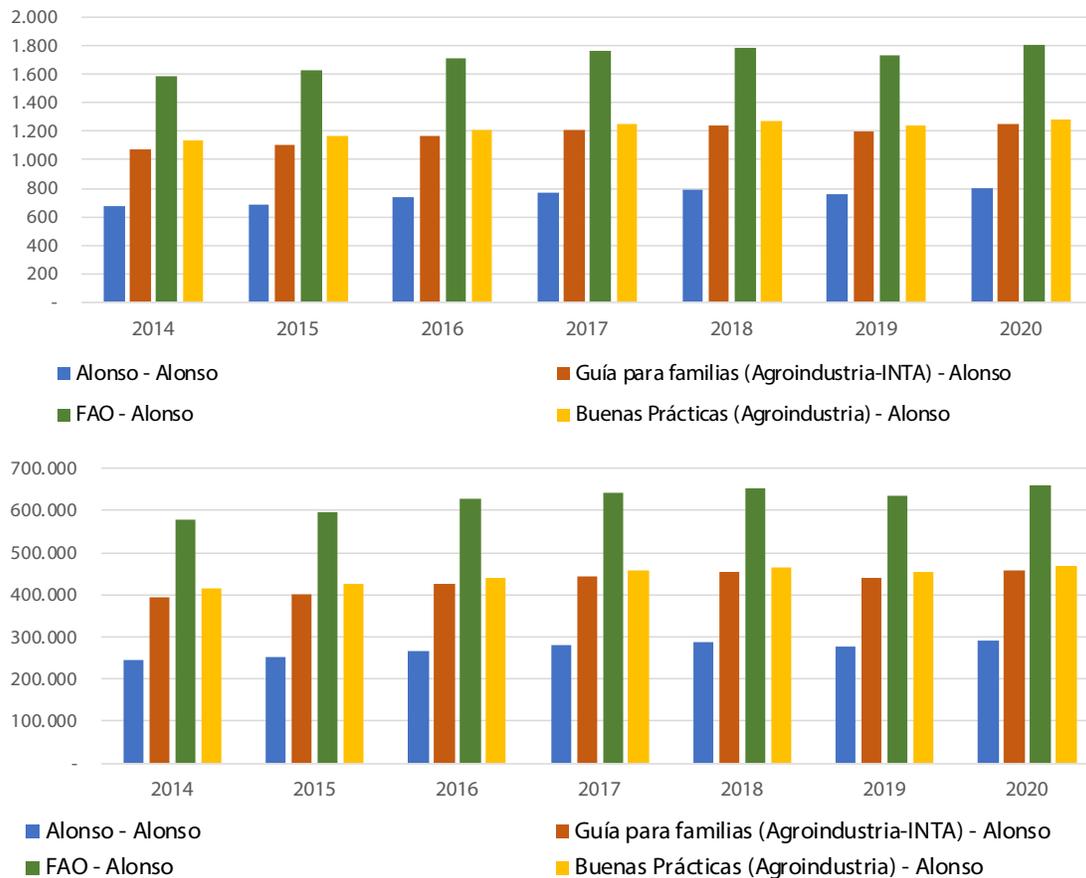
### ***Potencial de generación de biogás por tipo de residuo. Diferentes metodologías***

Con el propósito de dejar registro de las estimaciones realizadas, se presentan los gráficos con las diferentes metodologías, por tipo de residuo agropecuario.

#### ***Porcinos***

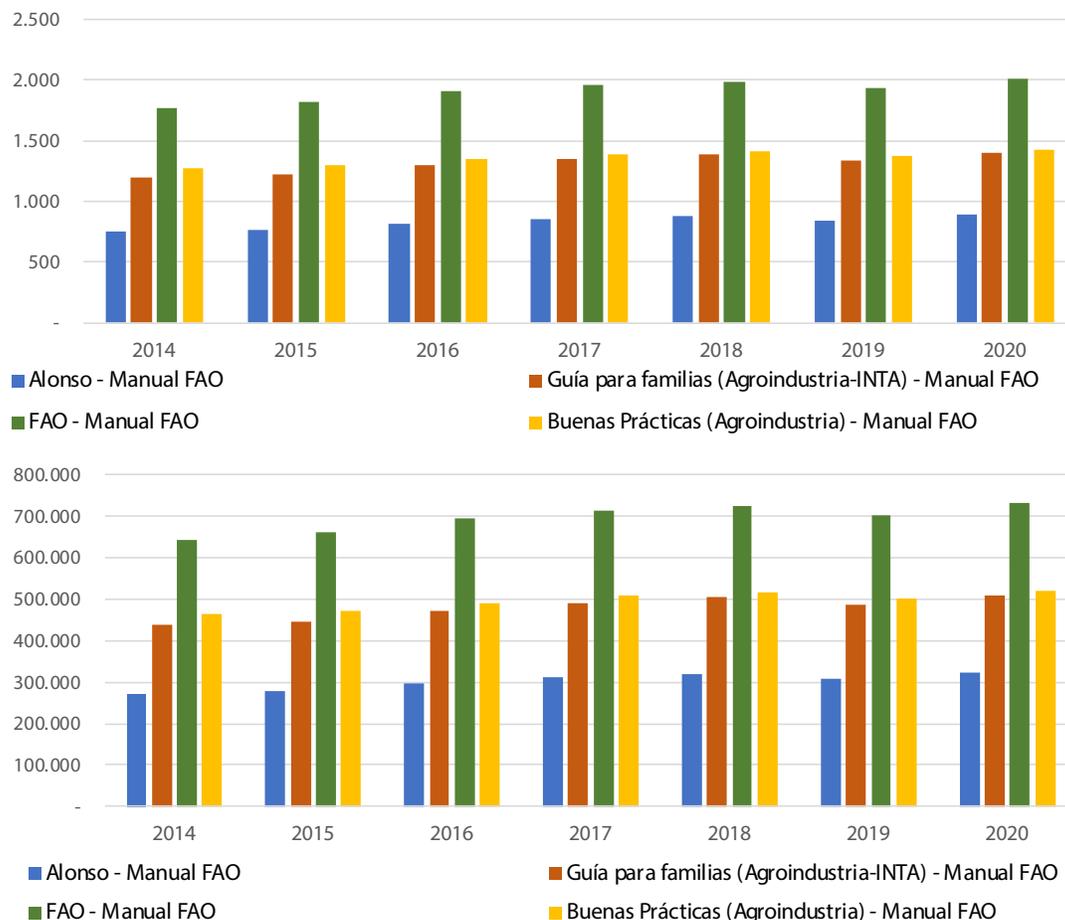
Como se indicó, la metodología elegida es la correspondiente a Buenas Prácticas de Manejo y Utilización de Efluentes Porcinos (Maisonave *et al.*, 2016) para el cálculo de excretas y de FAO (Varnero Moreno, 2011), para la estimación del potencial de producción de biogás (en color amarillo, Gráfico 8).

**Gráfico 7.** Potencial de producción de biogás con excretas de porcino, miles m<sup>3</sup>/día (superior) y miles m<sup>3</sup>/año (inferior). Metodología de Alonso-Estrada para estimación de biogás, 2014-2020  
*Graphic 7. Biogas production potential with pig excreta, thousands m<sup>3</sup>/day (upper) and thousands m<sup>3</sup>/year (lower). Alonso-Estrada methodology for biogas estimation, 2014-2020*



Fuente: elaboración propia con stock de porcinos de SENASA, todas las metodologías para cálculo de excretas, metodología de Alonso-Estrada *et al.* (2014) para cálculo de biogás. Source: own elaboration from detailed references.

**Gráfico 8.** Potencial de producción de biogás con excretas de porcino, miles m<sup>3</sup>/día (superior) y miles m<sup>3</sup>/año (inferior). Metodología de FAO para estimación de biogás, 2014-2020  
*Graphic 8. Biogas production potential with pig excreta, thousands m<sup>3</sup>/day (upper) and thousands m<sup>3</sup>/year (lower). FAO methodology for biogas estimation, 2014-2020*



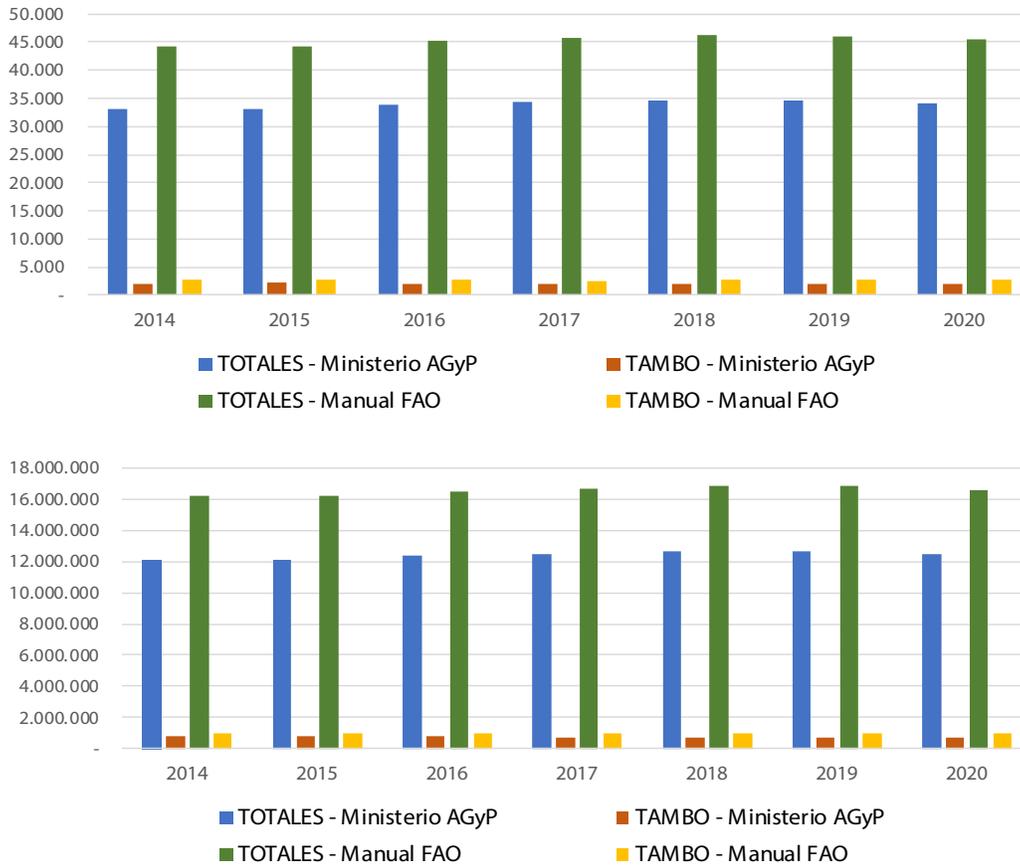
Fuente: elaboración propia con stock de porcinos de SENASA, todas las metodologías para cálculo de excretas, metodología de FAO (Várnero Moreno, 2011) para cálculo de biogás. Source: own elaboration from detailed references.

El resultado es que Argentina tuvo un potencial de producción de biogás promedio 2014-2020 en el orden de 1.360 mil m<sup>3</sup>/día y 496.000 mil m<sup>3</sup>/año, con aprovechamiento de excretas de porcinos, y una generación potencial de metano de 815 mil m<sup>3</sup>/día y 298.000 mil m<sup>3</sup>/año. Esto equivale a 850 mil litros/día y 310.000 mil litros/año de petróleo, 950 mil litros/día y 347.000 mil litros/año de nafta, 815 mil m<sup>3</sup>/día y 298.000 mil m<sup>3</sup>/año de gas, 8.494 mil kWh/día y 3.100 millones kWh/año de calor, 3.262 mil kWh/día y 1.190 millones kWh/año de electricidad (Gráficos 7 y 8).

### Bovinos

Como se indicó, la metodología elegida corresponde a MAGyP (2021b) para estimar el potencial de producción de biogás (en colores azul y marrón, bovinos y bovinos-tambo, respectivamente, Gráfico 9).

**Gráfico 9.** Potencial de producción de biogás con excretas de bovino, miles m<sup>3</sup>/día (superior) y miles m<sup>3</sup>/año (inferior). Metodología de MAGyP y FAO para estimación de biogás, 2014-2020  
 Graphic 9. Biogas potential production with bovine excreta, thousands m<sup>3</sup>/day (upper) and thousands m<sup>3</sup>/year (lower). MAGyP and FAO methodology for biogas estimation, 2014-2020



Fuente: elaboración propia con stock de bovinos de SENASA. Metodología para cálculo de excretas de Chemes (2019); metodologías para cálculo de biogás de Flores *et al.* (2009), conversión usada por MAGyP (2021b) y Varnero y Arellano (1990) presentada en el *Manual de biogás* de FAO (Varnero Moreno, 2011). Source: own elaboration from detailed references.

El resultado obtenido es que Argentina tuvo un potencial de producción de biogás promedio 2014-2020 en el orden de 33.960 mil m<sup>3</sup>/día y 12.397 millones m<sup>3</sup>/año, a partir del aprovechamiento de excretas de bovinos, con una generación potencial de metano de 20.378 mil m<sup>3</sup>/día y 7.438 millones m<sup>3</sup>/año. Esto equivale a 21.228 mil litros/día y 7.748 millones litros/año de petróleo, 23.775 mil litros/día y 8.668 millones litros/año de nafta, 20.378 mil m<sup>3</sup>/día y 7.438 millones m<sup>3</sup>/año de gas, 212.275 mil kWh/día y 77.480 millones kWh/año de calor, 81.514 mil kWh/día y 29.752 millones kWh/año de electricidad.

Pero considerando solo bovinos-tambo, el potencial de producción de biogás se reduce al 6% del total, ubicándose en el orden de 2.064 mil m<sup>3</sup>/día y 753.374 mil m<sup>3</sup>/año, a partir del aprovechamiento de excretas de bovinos, con una generación potencial de metano de 1.238 mil m<sup>3</sup>/día y 452.025 mil m<sup>3</sup>/año. Esto equivale a 1.290 mil litros/día y 470.859 mil litros/año de petróleo, 1.445 mil litros/día y 527.362 mil litros/año de nafta, 1.238 mil m<sup>3</sup>/día y 452.025 mil m<sup>3</sup>/año de gas, 12.900 mil kWh/día y 4.709 millones kWh/año de calor, 4.954 mil kWh/día y 1.808 millones kWh/año de electricidad.

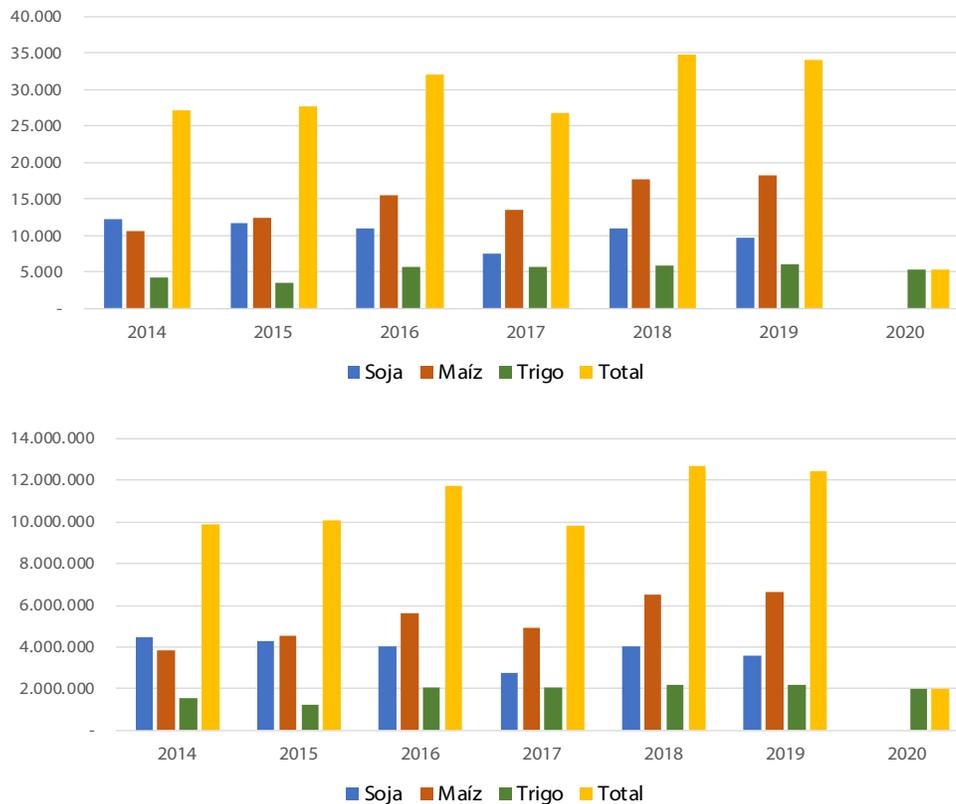
Haciendo una estimación del porcentaje que podría agregar la recolección de excretas del bovino engordado a corral, que representa en 2021 el 2,9% de la producción total de bovinos (stock de cría a corral de 2021 respecto del stock promedio 2014-2020, por categoría de bovino), se agregaría a la capacidad de producción 760 mil m<sup>3</sup>/día y 277.291 mil m<sup>3</sup>/año, con la metodología seleccionada.<sup>8</sup> De esa forma, el potencial de producción de biogás a partir de excretas de bovinos-tambo y bovinos-engorde a corral representaría 2.824 mil m<sup>3</sup>/día y 1.031 millones m<sup>3</sup>/año, y de metano de 1.694 mil m<sup>3</sup>/día y 618.400 mil m<sup>3</sup>/año.

### **Rastrojos de soja, maíz y trigo**

Como se indicó, se usaron estadísticas de BCBsAs, para la estimación del potencial de producción de biogás mediante el aprovechamiento de rastrojos (Gráficos 10, 11, 12 y 13).

**Gráfico 10.** Potencial de producción de biogás con residuos de cultivos, miles m<sup>3</sup>/día (superior) y miles m<sup>3</sup>/año (inferior). Estadísticas de producción agrícola de MAGyP. Remoción de rastrojos al 25%, 2014-2020

*Graphic 10. Biogas production potential with crop residue, thousands m<sup>3</sup>/day (upper) and thousands m<sup>3</sup>/year (lower). MAGyP agricultural production statistics. Stubble removal at 25%, 2014-2020*

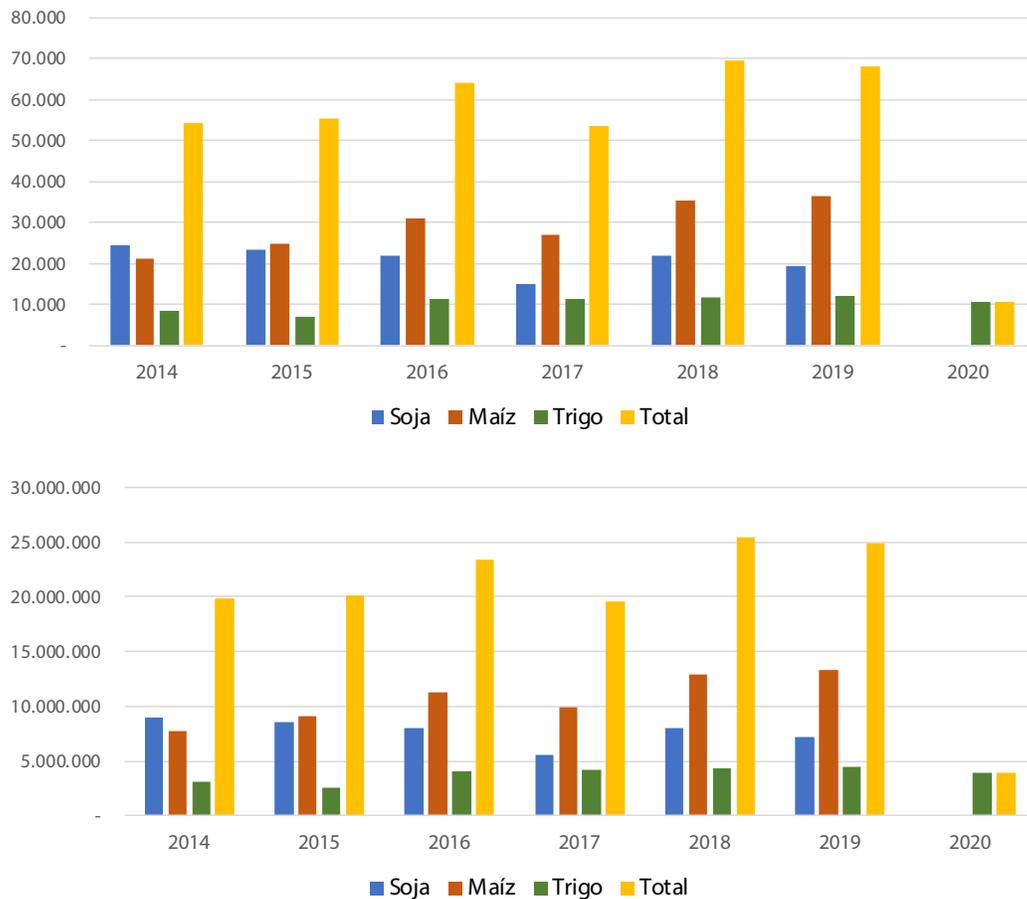


Fuente: elaboración propia a partir de MAGyP. Metodología para cálculo de rastrojos de cultivos de Unkovich *et al.* (2010); metodología para estimación de biogás de soja de Hilbert *et al.* (2018) y de maíz y trigo del *Manual de biogás* de FAO (Várner Moreno, 2011). Source: own elaboration from detailed references.

8 Con la metodología descartada, correspondiente al *Manual de biogás* de FAO, el potencial estimado asciende a 1.013 miles m<sup>3</sup>/día y 369.721 miles m<sup>3</sup>/año por excretas de ganado de engorde a corral.

**Gráfico 11.** Potencial de producción de biogás con residuos de cultivos, miles m<sup>3</sup>/día (superior) y miles m<sup>3</sup>/año (inferior). Estadísticas de producción agrícola de MAGyP. Remoción de rastrojos al 50%, 2014-2020

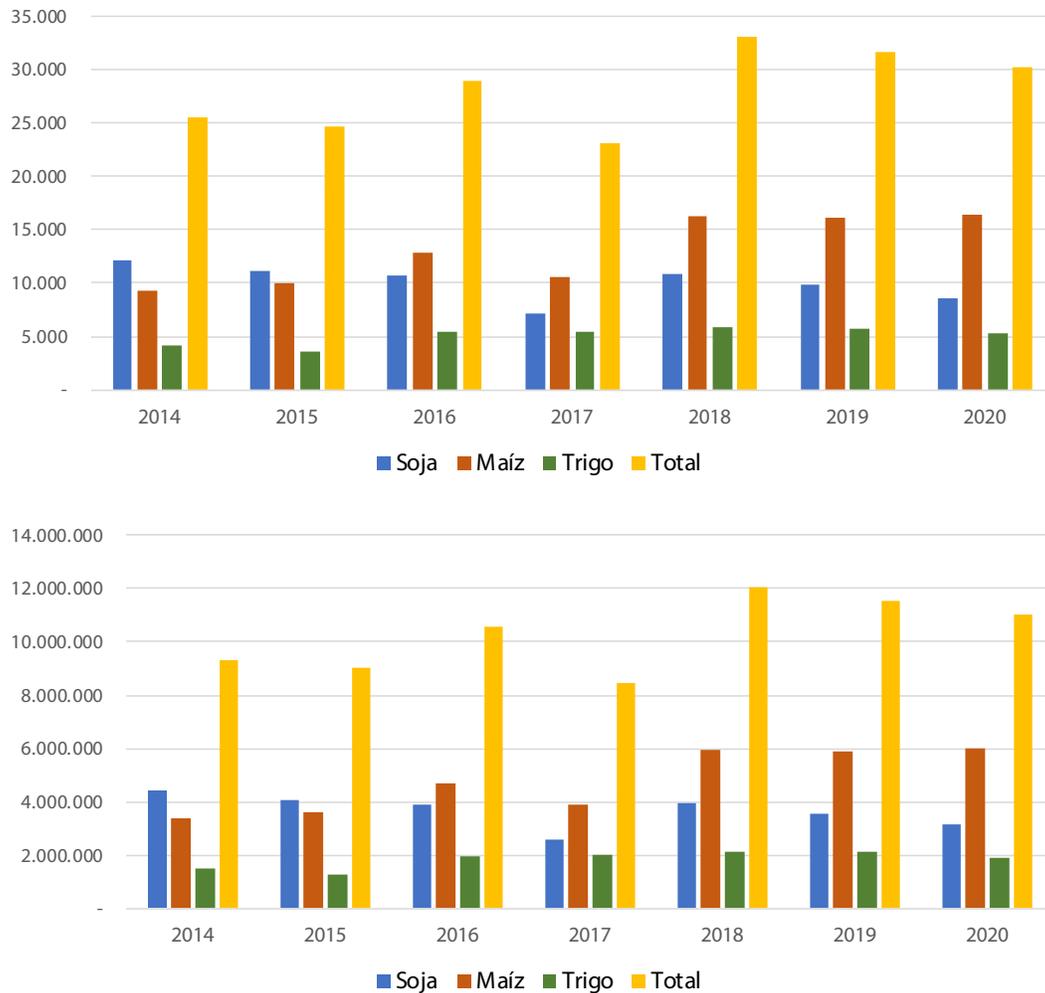
*Graphic 11. Biogas production potential with crop residue, thousands m<sup>3</sup>/day (upper) and thousands m<sup>3</sup>/year (lower). MAGyP agricultural production statistics. Stubble removal at 50%, 2014-2020*



Fuente: elaboración propia a partir de MAGyP. Metodología para cálculo de rastrojos de cultivos de Unkovich *et al.* (2010); metodología para estimación de biogás de soja de Hilbert *et al.* (2018) y de maíz y trigo del *Manual de biogás* de FAO (Varnero Moreno, 2011). Source: own elaboration from detailed references.

**Gráfico 12.** Potencial de producción de biogás con residuos de cultivos, miles m<sup>3</sup>/día (superior) y miles m<sup>3</sup>/año (inferior). Estadísticas de producción agrícola de BCBsAs. Remoción de rastrojos al 25%, 2014-2020

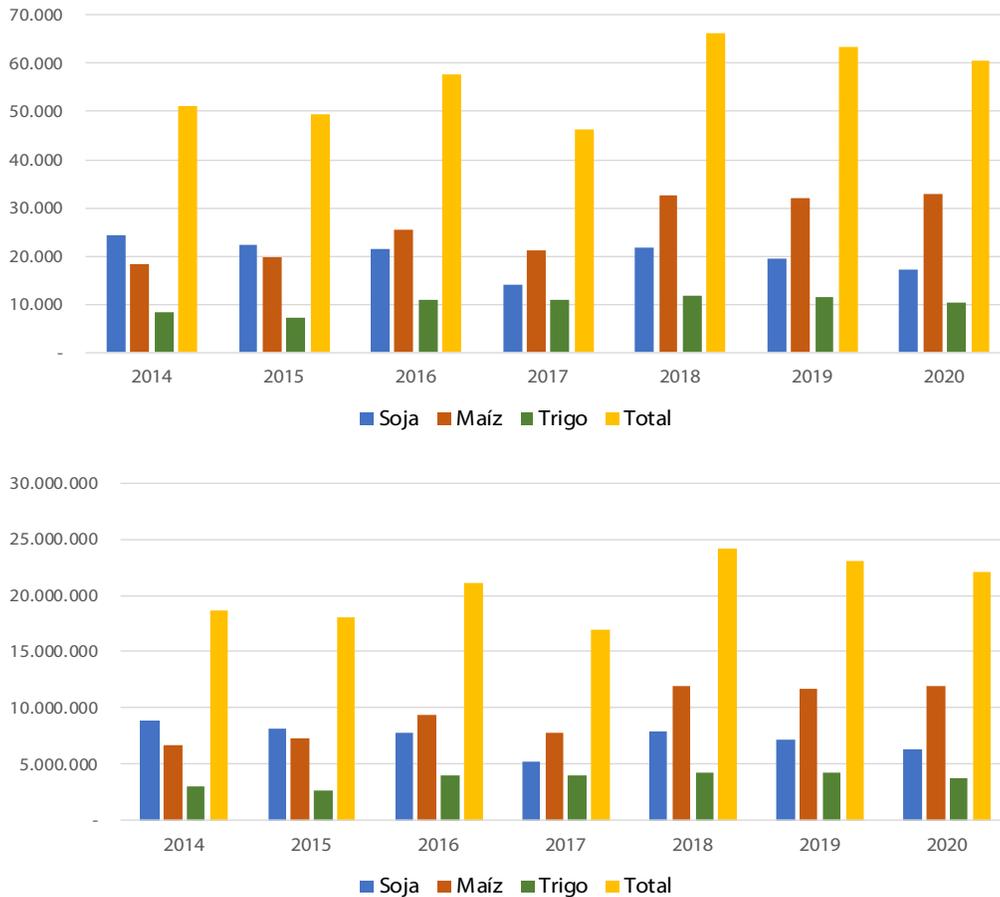
Graphic 12. Biogas production potential with crop residue, thousands m<sup>3</sup>/day (upper) and thousands m<sup>3</sup>/year (lower). BCBsAs agricultural production statistics. Stubble removal at 25%, 2014-2020



Fuente: elaboración propia a partir de BCBsAs. Metodología para cálculo de rastrojos de cultivos de Unkovich *et al.* (2010); metodología para estimación de biogás de soja de Hilbert *et al.* (2018) y de maíz y trigo del *Manual de biogás* de FAO (Varnero Moreno, 2011). Source: own elaboration from detailed references.

**Gráfico 13.** Potencial de producción de biogás con residuos de cultivos, miles m<sup>3</sup>/día (superior) y miles m<sup>3</sup>/año (inferior). Estadísticas de producción agrícola de BCBsAs. Remoción de rastrojos al 50%, 2014-2020

*Graphic 13. Biogas production potential with crop residue, thousands m<sup>3</sup>/day (upper) and thousands m<sup>3</sup>/year (lower). BCBsAs agricultural production statistics. Stubble removal at 50%, 2014-2020*



Fuente: elaboración propia a partir de BCBsAs. Metodología para cálculo de rastrojos de cultivos de Unkovich *et al.* (2010); metodología para estimación de biogás de soja de Hilbert *et al.* (2018) y de maíz y trigo del *Manual de biogás* de FAO (Varnero Moreno, 2011). Source: own elaboration from detailed references.

El resultado obtenido es que Argentina tuvo un potencial de producción de biogás promedio 2014-2020 en el orden de 28.170 mil m<sup>3</sup>/día y 10.282 millones m<sup>3</sup>/año, a partir del aprovechamiento de rastrojos de soja, maíz y trigo (remoción al 25%), con una generación potencial de metano de 16.900 mil m<sup>3</sup>/día y 6.169 millones m<sup>3</sup>/año. Esto equivale a 17.600 mil litros/día y 6.426 millones litros/año de petróleo, 19.720 mil litros/día y 7.198 millones litros/año de nafta, 16.900 mil m<sup>3</sup>/día y 6.169 millones m<sup>3</sup>/año de gas, 176.000 mil kWh/día y 64.265 millones kWh/año de calor, 67.600 mil kWh/día y 24.678 millones kWh/año de electricidad.

En cambio, con remoción de rastrojos de soja, maíz y trigo del 50% el resultado obtenido para Argentina asciende a un potencial de producción de biogás, promedio 2014-2020, del orden de 56.300 mil m<sup>3</sup>/día y 20.565 millones m<sup>3</sup>/año, con una generación potencial de metano de 33.800 mil m<sup>3</sup>/día y 12.339 millones m<sup>3</sup>/año. Equivale a 35.200 mil litros/día y 12.853 millones litros/año de petróleo, 39.440 mil litros/día y 14.395 millones

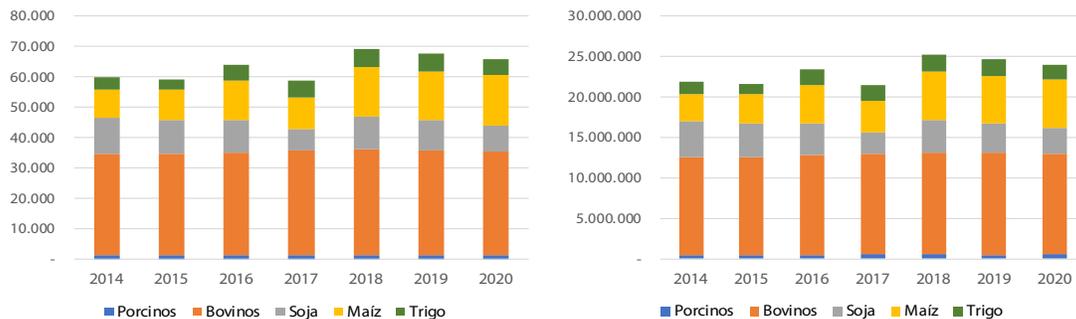
litros/año de nafta, 33.800 mil m<sup>3</sup>/día y 12.339 millones m<sup>3</sup>/año de gas, 352.000 mil kWh/día y 128.530 millones kWh/año de calor, 135.200 mil kWh/día y 49.356 millones kWh/año de electricidad.

### **Potencial de generación de biogás estimada total en Argentina, 2014-2020**

Sumando los distintos orígenes de residuos y trabajando con las fuentes estadísticas y metodologías seleccionadas, con remoción de residuos al 25% y diferenciando el potencial de bovinos del correspondiente a bovinos-tambo, se obtuvieron las siguientes estimaciones de producción de biogás y metano, diaria y anual, y las equivalencias de biogás a petróleo, nafta, gas, calor y electricidad (Gráficos 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27 y 28).

**Gráfico 14.** Potencial de producción de biogás con residuos agropecuarios, miles m<sup>3</sup>/día (izquierda) y año (derecha), 2014-2020

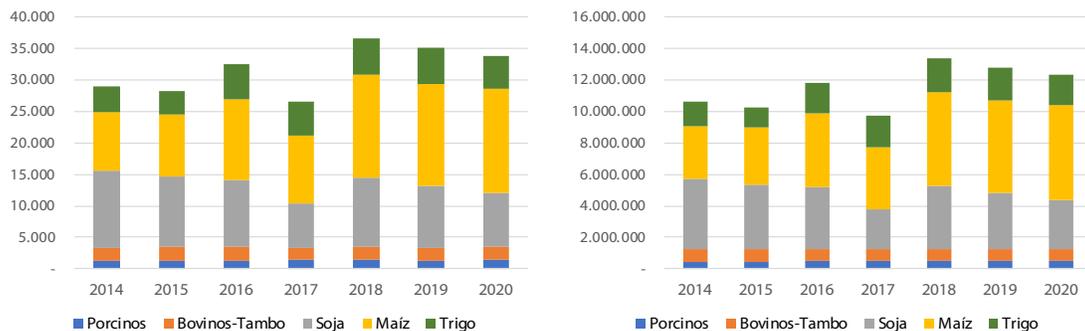
*Graphic 14. Biogas potential production with agricultural waste, thousands m<sup>3</sup>/day (left) and year (right), 2014-2020*



Fuente: elaboración propia con stock ganadero de SENASA y producción agrícola de BCBAs. Metodologías para cálculo de biogás: excretas de porcinos de Buenas Prácticas de Manejo y Utilización de Efluentes Porcinos (Maisonnave *et al.*, 2016) y de estimación de biogás de FAO (Varnero Moreno, 2011); excretas de bovinos de Chemes (2019) y cálculo de biogás de Flores *et al.* (2009); conversión usada por MAGyP (2021b); rastros de cultivos de Unkovich *et al.* (2010), remoción al 25%; metodología para estimación de biogás de soja de Hilbert *et al.* (2018) y de maíz y trigo del *Manual de biogás* de FAO. Source: own elaboration from detailed references.

**Gráfico 15.** Potencial de producción de biogás con residuos agropecuarios (solo bovinos-tambo), miles m<sup>3</sup>/día (izquierda) y año (derecha), 2014-2020

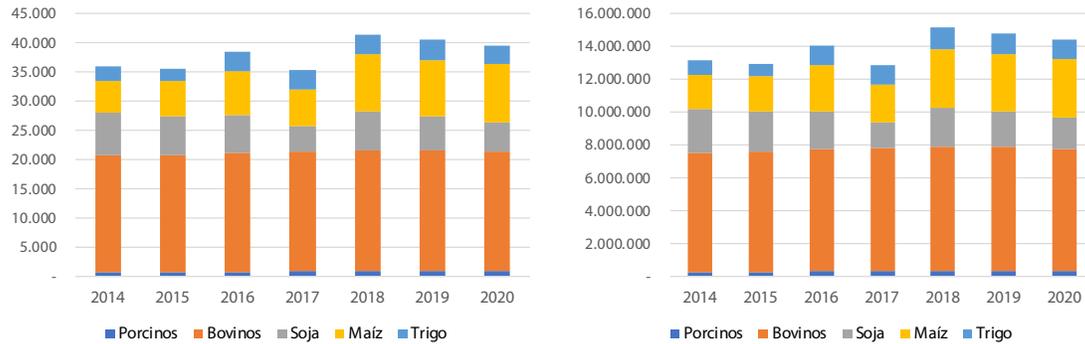
*Graphic 15. Biogas potential production with agricultural waste (only cattle-dairy), thousands m<sup>3</sup>/day (left) and year (right), 2014-2020*



Fuente: elaboración propia con stock ganadero de SENASA y producción agrícola de BCBAs. Metodologías para cálculo de biogás: excretas de porcinos de Buenas Prácticas de Manejo y Utilización de Efluentes Porcinos (Maisonnave *et al.*, 2016) y de estimación de biogás de FAO (Varnero Moreno, 2011); excretas de bovinos de Chemes (2019) y cálculo de biogás de Flores *et al.* (2009); conversión usada por MAGyP (2021b); rastros de cultivos de Unkovich *et al.* (2010), remoción al 25%; metodología para estimación de biogás de soja de Hilbert *et al.* (2018) y de maíz y trigo del *Manual de biogás* de FAO. Source: own elaboration from detailed references.

**Gráfico 16.** Potencial de producción de metano con residuos agropecuarios, miles m<sup>3</sup>/día (izquierda) y año (derecha), 2014-2020

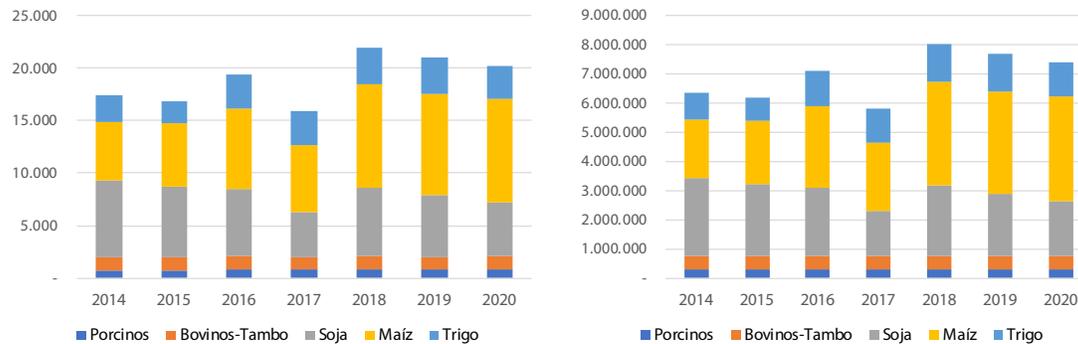
Graphic 16. Methane potential production with agricultural waste, thousands m<sup>3</sup>/day (left) and year (right), 2014-2020



Fuente: elaboración propia. La generación de metano representa el 60% de la producción de biogás (Redagrícola, 2017). Source: own elaboration. Methane generation represents 60% of biogas production (Redagrícola, 2017).

**Gráfico 17.** Potencial de producción de metano con residuos agropecuarios (solo bovinos-tambo), miles m<sup>3</sup>/día (izquierda) y año (derecha), 2014-2020

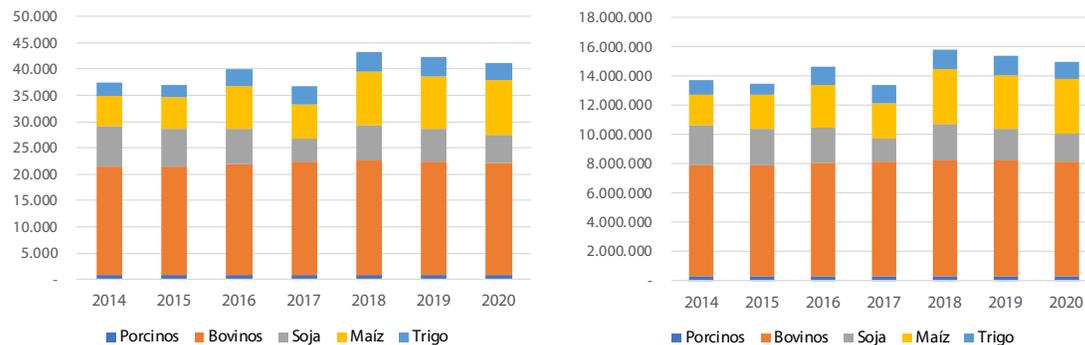
Graphic 17. Methane potential production with agricultural waste (only cattle-dairy), thousands m<sup>3</sup>/day (left) and year (right), 2014-2020



Fuente: elaboración propia. La generación de metano representa el 60% de la producción de biogás (Redagrícola, 2017). Source: own elaboration. Methane generation represents 60% of biogas production (Redagrícola, 2017).

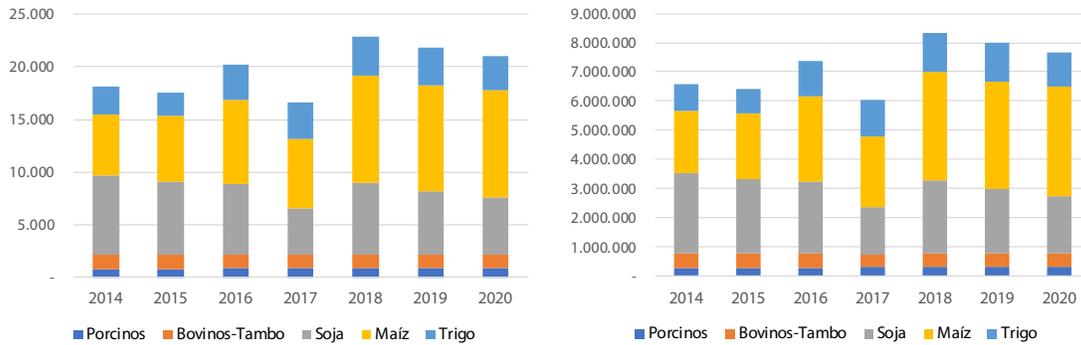
**Gráfico 18.** Potencial de producción de biogás – equivalencia a petróleo, con residuos agropecuarios, miles litros/día (izquierda) y año (derecha), 2014-2020

Graphic 18. Biogas production potential – equivalent to oil, with agricultural waste, thousands liters/day (left) and year (right), 2014-2020



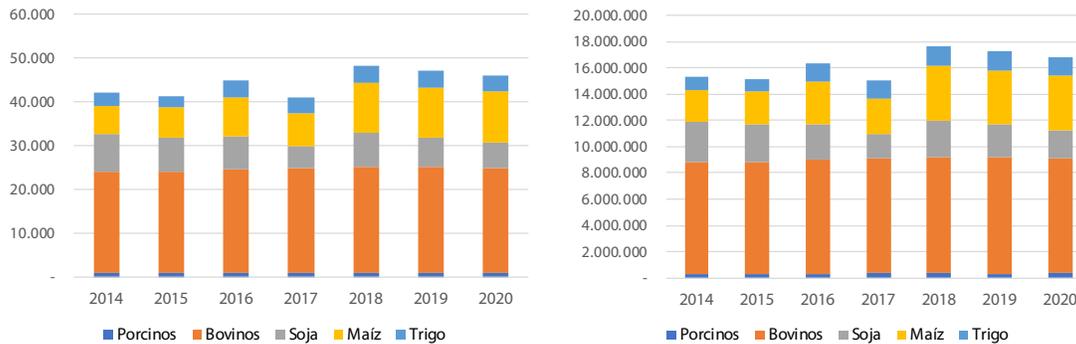
Fuente: elaboración propia. La equivalencia es 1m<sup>3</sup> de biogás = 0,60-0,65 litros de petróleo (Varnero Moreno, 2011). Se calculó 0,625 litros petróleo/m<sup>3</sup> biogás. Source: own elaboration. The equivalence is 1m<sup>3</sup> of biogas = 0.60-0.65 liters of oil (Varnero Moreno, 2011). 0.625 liters oil/m<sup>3</sup> biogas was calculated.

**Gráfico 19.** Potencial de producción de biogás – equivalencia a petróleo, con residuos agropecuarios (solo bovinos-tambo), miles litros/día (izquierda) y año (derecha), 2014-2020  
*Graphic 19. Biogas production potential – equivalent to oil, with agricultural waste (only cattle-dairy), thousands liters/day (left) and year (right), 2014-2020*



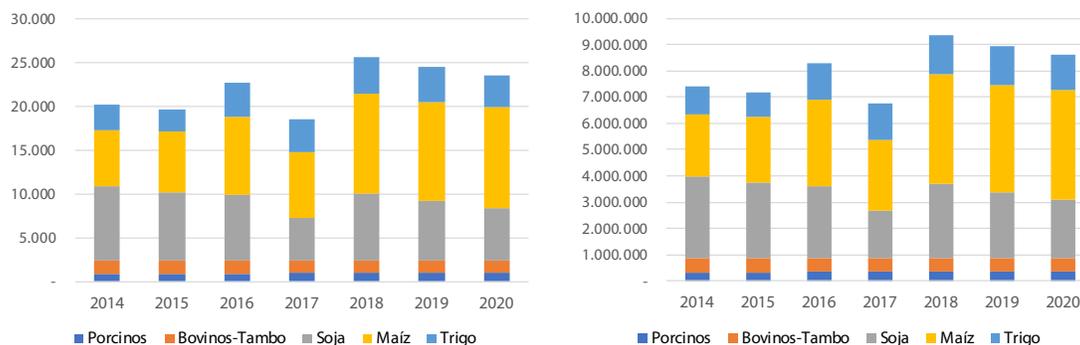
Fuente: elaboración propia. La equivalencia es 1m<sup>3</sup> de biogás = 0,60-0,65 litros de petróleo (Varnero Moreno, 2011). Se calculó 0,625 litros petróleo/m<sup>3</sup> biogás. Source: own elaboration. The equivalence is 1m<sup>3</sup> of biogas = 0.60-0.65 liters of oil (Varnero Moreno, 2011). 0.625 liters oil/m<sup>3</sup> biogas was calculated.

**Gráfico 20.** Potencial de producción de biogás – equivalencia a nafta, con residuos agropecuarios, miles litros/día (izquierda) y año (derecha), 2014-2020  
*Graphic 20. Biogas production potential – equivalent to naphtha, with agricultural waste, thousands liters/day (left) and year (right), 2014-2020*



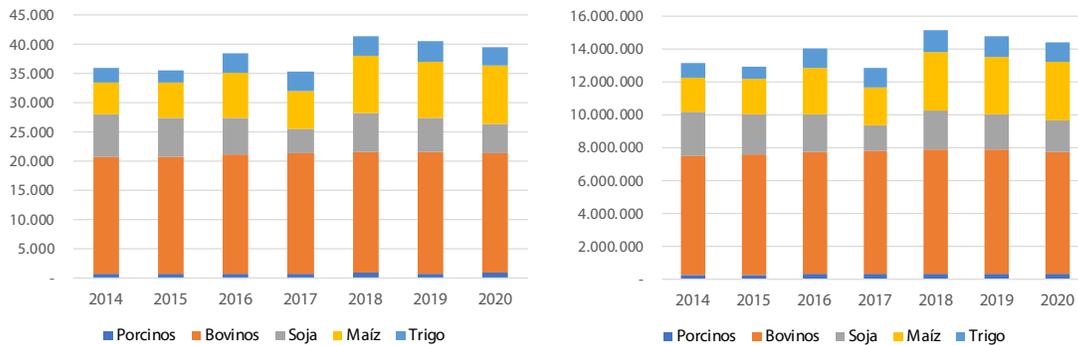
Fuente: elaboración propia. La equivalencia es 1m<sup>3</sup> de biogás = 0,70 litros de nafta (Redagrícola, 2017). Source: own elaboration. The equivalence is 1m<sup>3</sup> of biogas = 0.70 liters of naphtha (Redagrícola, 2017).

**Gráfico 21.** Potencial de producción de biogás – equivalencia a nafta, con residuos agropecuarios (solo bovinos-tambo), miles litros/día (izquierda) y año (derecha), 2014-2020  
*Graphic 21. Biogas production potential – equivalent to naphtha, with agricultural waste (only cattle-dairy), thousands liters/day (left) and year (right), 2014-2020*



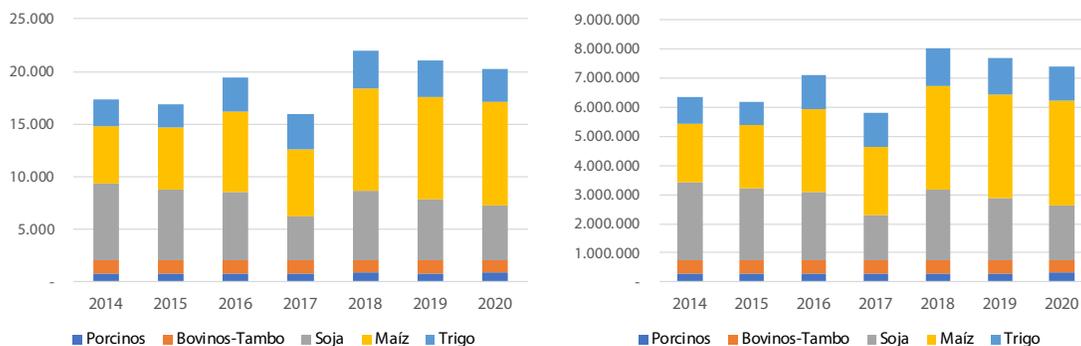
Fuente: elaboración propia. La equivalencia es 1m<sup>3</sup> de biogás = 0,70 litros de nafta (Redagrícola, 2017). Source: own elaboration. The equivalence is 1m<sup>3</sup> of biogas = 0.70 liters of naphtha (Redagrícola, 2017).

**Gráfico 22.** Potencial de producción de biogás – equivalencia a gas, con residuos agropecuarios, miles litros/día (izquierda) y año (derecha), 2014-2020  
*Graphic 22. Biogas production potential – equivalent to gas, with agricultural waste, thousands liters/day (left) and year (right), 2014-2020*



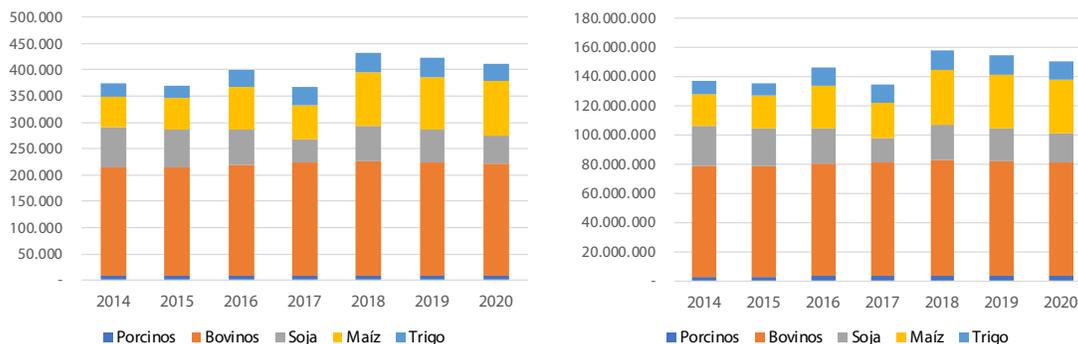
Fuente: elaboración propia. La equivalencia es 1m<sup>3</sup> de biogás = 0,6m<sup>3</sup> de gas (Redagricola, 2017).  
 Source: own elaboration. The equivalence is 1m<sup>3</sup> of biogas = 0.6m<sup>3</sup> of gas (Redagricola, 2017).

**Gráfico 23.** Potencial de producción de biogás – equivalencia a gas, con residuos agropecuarios (solo bovino-tambo), miles litros/día (izquierda) y año (derecha), 2014-2020  
*Graphic 23. Biogas production potential – equivalent to gas, with agricultural waste (only cattle-dairy), thousands liters/day (left) and year (right), 2014-2020*



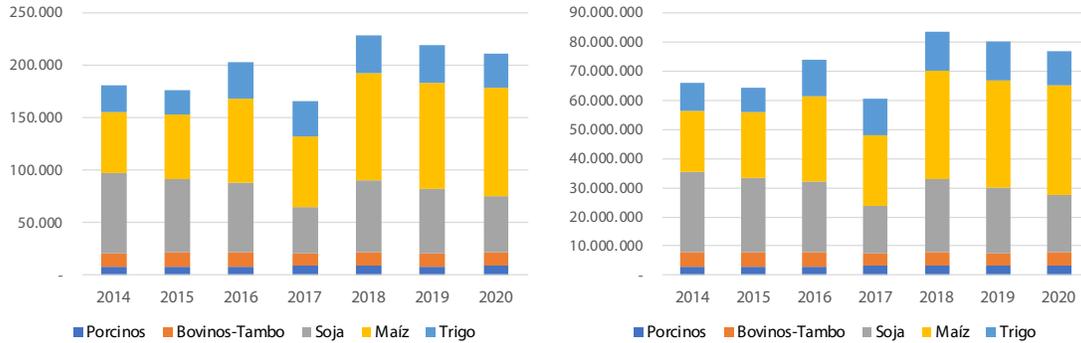
Fuente: elaboración propia. La equivalencia es 1m<sup>3</sup> de biogás = 0,6m<sup>3</sup> de gas (Redagricola, 2017).  
 Source: own elaboration. The equivalence is 1m<sup>3</sup> of biogas = 0.6m<sup>3</sup> of gas (Redagricola, 2017).

**Gráfico 24.** Potencial de producción de biogás – equivalencia a calor, con residuos agropecuarios, miles litros/día (izquierda) y año (derecha), 2014-2020  
*Graphic 24. Biogas production potential – equivalent to heat, with agricultural waste, thousands liters/day (left) and year (right), 2014-2020*



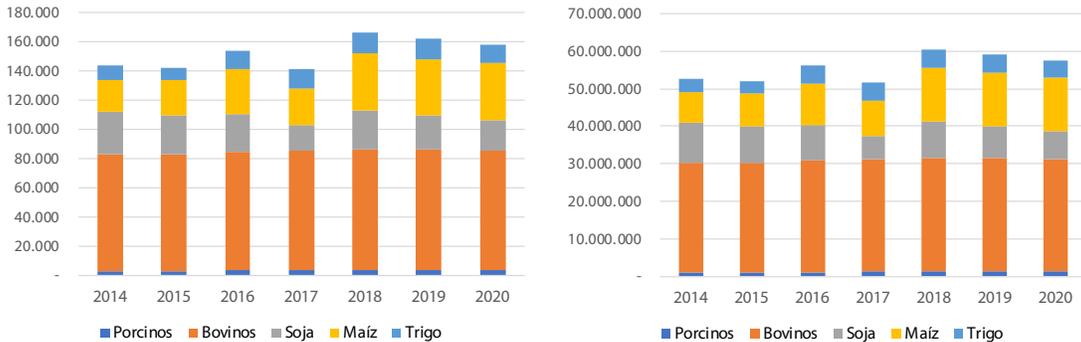
Fuente: elaboración propia. La equivalencia es 1m<sup>3</sup> de biogás = 6,0-6,5kWh de calor (Varnero Moreno, 2011). Se calculó 6,25kWh/m<sup>3</sup> biogás. Source: own elaboration. The equivalence is 1m<sup>3</sup> of biogas = 6.0-6.5kWh of heat (Varnero Moreno, 2011). 6.25kWh/m<sup>3</sup> biogas was calculated.

**Gráfico 25.** Potencial de producción de biogás – equivalencia a calor, con residuos agropecuarios (solo bovinos-tambo), miles litros/día (izquierda) y año (derecha), 2014-2020  
*Graphic 25. Biogas production potential – equivalent to heat, with agricultural waste (only cattle-dairy), thousands liters/day (left) and year (right), 2014-2020*



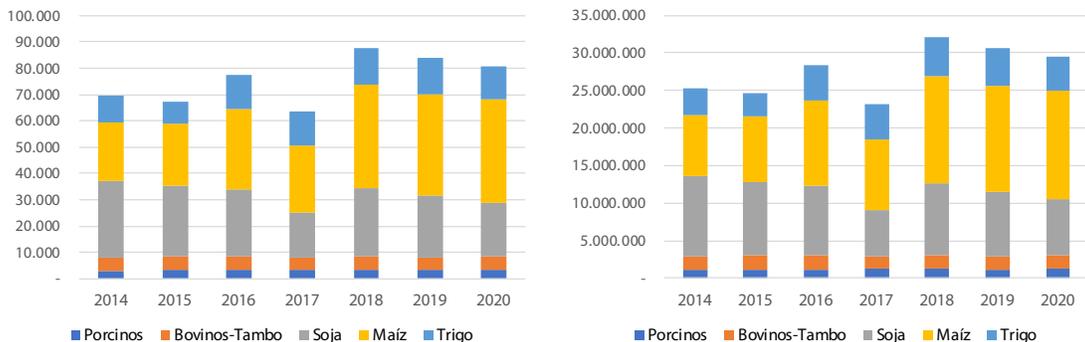
Fuente: elaboración propia. La equivalencia es  $1\text{m}^3$  de biogás = 6,0-6,5kWh de calor (Varnero Moreno, 2011). Se calculó  $6,25\text{kWh}/\text{m}^3$  biogás. Source: own elaboration. The equivalence is  $1\text{m}^3$  of biogas = 6.0-6.5kWh of heat (Varnero Moreno, 2011).  $6.25\text{kWh}/\text{m}^3$  biogas was calculated.

**Gráfico 26.** Potencial de producción de biogás – equivalencia a electricidad, con residuos agropecuarios, miles litros/día (izquierda) y año (derecha), 2014-2020  
*Graphic 26. Biogas production potential – equivalent to electricity, with agricultural waste, thousands liters/day (left) and year (right), 2014-2020*



Fuente: elaboración propia. La equivalencia es  $1\text{m}^3$  de biogás = 2,4kWh de electricidad (Redagricola, 2017). Source: own elaboration. The equivalence is  $1\text{m}^3$  of biogas = 2,4kWh of electricity (Redagricola, 2017).

**Gráfico 27.** Potencial de producción de biogás – equivalencia a electricidad, con residuos agropecuarios (solo bovinos-tambo), miles litros/día (izquierda) y año (derecha), 2014-2020  
*Graphic 27. Biogas production potential – equivalent to electricity, with agricultural waste (only cattle-dairy), thousands liters/day (left) and year (right), 2014-2020*

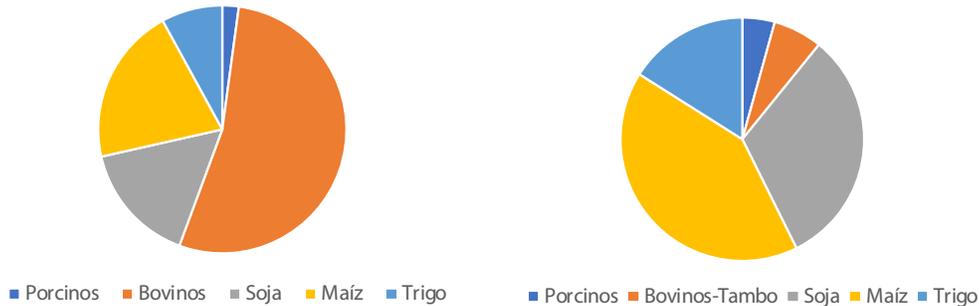


Fuente: elaboración propia. La equivalencia es  $1\text{m}^3$  de biogás = 2,4kWh de electricidad (Redagricola, 2017). Source: own elaboration. The equivalence is  $1\text{m}^3$  of biogas = 2,4kWh of electricity (Redagricola, 2017).

A través de los gráficos puede observarse que el mayor potencial de generación de biogás a partir de residuos agropecuarios radica en el ganado bovino (el 53,5% del promedio 2014-2020); considerando la dificultad en la recolección de vacuno criado a campo abierto, identificamos al maíz (41,3% del promedio 2014-2020) y la soja (31,8% del promedio 2014-2020) como los cultivos con mayor potencial de producción de biogás (Gráfico 28).

**Gráfico 28.** Distribución de potencial de producción de biogás por origen de residuo agropecuario, con remoción de rastrojos al 25%, porcinos y bovinos (izquierda) o bovinos-tambo (derecha), promedio 2014-2020

*Graphic 28. Distribution of potencial biogas production by origin of agricultural waste, with 25% stubble removal, pigs and cattle (left) or cattle.dairy (right), average 2014-2020*



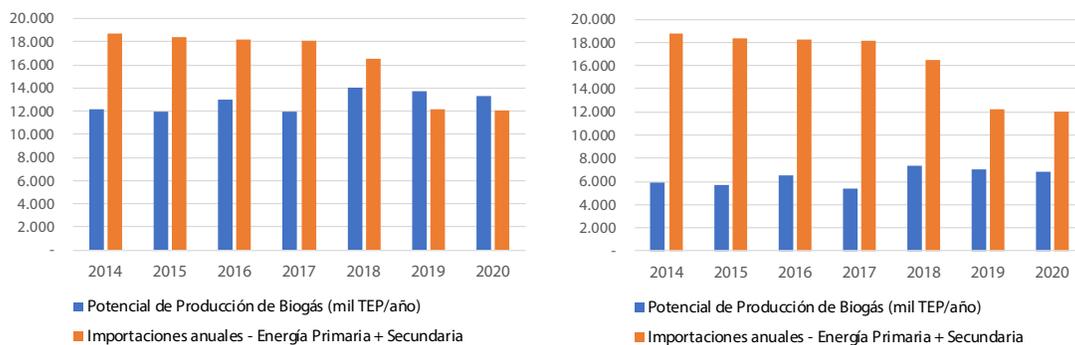
Fuente: elaboración propia aplicando estimaciones presentadas en Gráficos 14 y 15.  
 Source: own elaboration applying estimates presented in Graphics 14 and 15.

### ***Sustitución de importaciones de electricidad primaria y secundaria***

Finalmente, podemos evaluar la posibilidad de reducir las importaciones de electricidad primaria y secundaria, realizadas por Argentina en el periodo bajo estudio. A continuación, se presentan el potencial de generación de biogás estimado en el trabajo y las compras externas, en miles de TEP por año (Gráfico 29 y 30).

**Gráfico 29.** Potencial de producción anual de biogás con residuos agropecuarios e importaciones de energía de Argentina. Remoción de residuos de la cosecha al 25%, porcinos y bovinos (izquierda) o bovinos-tambo (derecha), 2014-2020

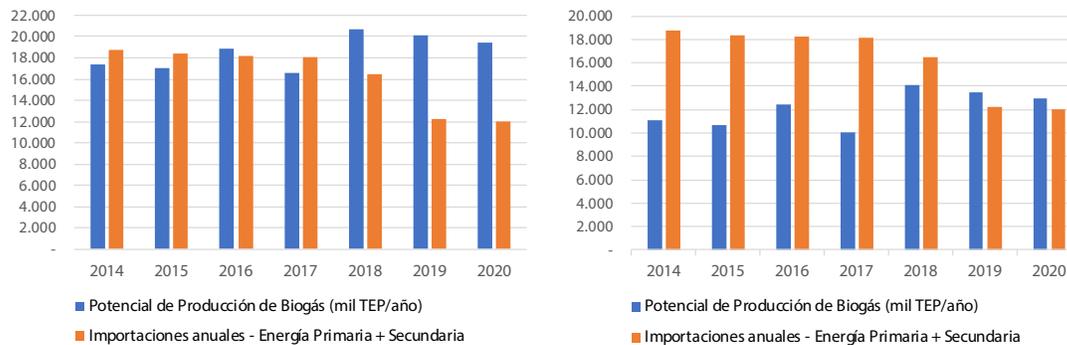
*Graphic 29. Annual biogas potential production with agricultural waste and energy imports from Argentina. Removal of crop residues at 25%, pigs and cattle (left) or cattle-dairy (right), 2014-2020*



Fuente: elaboración propia aplicando estimaciones presentadas en Gráficos 14 y 15, y estadísticas de importaciones de energía primaria+secundaria (Secretaría de Energía de la República Argentina, 2021). Source: own elaboration applying estimates presented in Graphics 14 and 15, and statistics of primary+secondary energy imports (Secretaría de Energía de la República Argentina, 2021).

**Gráfico 30.** Potencial de producción anual de biogás con residuos agropecuarios e importaciones de energía de Argentina. Remoción de residuos de la cosecha al 50%, porcinos y bovinos (izquierda) o bovinos-tambo (derecha), 2014-2020

Graphic 30. Annual biogas potential production with agricultural waste and energy imports from Argentina. Removal of crop residues at 50%, pigs and cattle (left) or cattle-dairy (right), 2014-2020



Fuente: elaboración propia aplicando estimaciones presentadas en Gráficos 14 y 15, y estadísticas de importaciones de energía primaria+secundaria (Secretaría de Energía de la República Argentina, 2021). Source: own elaboration applying estimates presented in Graphics 14 and 15, and statistics of primary+secondary energy imports (Secretaría de Energía de la República Argentina, 2021).

Podemos concluir que con remoción de rastrojos al 25% solo se podrían reemplazar completamente las compras externas de energía considerando el aprovechamiento completo del *stock* porcino y bovino en los años 2019 y 2020; en cambio, si se realiza la remoción de cultivos al 50%, porcinos y bovinos totales, en los años 2014, 2015 y 2017 el déficit energético es poco relevante, y en los años 2016, 2018-2020 se convierte en superávit (incluso, en los tres últimos años del periodo el saldo positivo es significativo). Por lo tanto, considerando el aprovechamiento de residuos de las cosechas al 50%, porcinos y solo de bovinos-tambo, en los años 2019 y 2020 habría superávit energético, y las importaciones correspondientes a los años 2014-2018 hubieran sido menores a la mitad.

En cifras, considerando promedios anuales 2014-2020, las importaciones de energía fueron 16.314 mil TEP/año; se hubieran reducido a 9.910 mil TEP/año si se aprovechaban los residuos de cosecha al 25%, las excretas de porcino y las de bovino-tambo. Las compras requeridas hubieran sido menos de la mitad, 4.200 mil TEP/año, de generar biogás con remoción de cultivos al 50%, excretas de porcinos y de bovinos-tambo. Todavía habrían sido menores, 3.444 mil TEP/año si la remoción de cultivos hubiera sido del 25%, excretas de porcinos y de bovinos (*stock* completo). Pero si la remoción de cultivos hubiera sido del 50% y se hubieran podido aprovechar las excretas de porcinos y bovinos completamente, el saldo anual promedio del periodo hubiera arrojado un superávit energético de 2.266 mil TEP/año. Resulta prometedor considerar que existen a la mano otros residuos agrícolas, industriales o urbanos, cuya recolección puede ser aún más fácil y necesaria.

## Conclusiones

En vistas de la realidad energética argentina, así como de los compromisos internacionales asumidos en el área ambiental, y considerando la relevancia del volumen de la producción agropecuaria, se vislumbra un camino que puede resultar una solución en ambos sentidos, iluminada por los principios de la economía circular. Agregar valor transformando residuos en materias primas, reducir emisiones de GEI, ampliar la oferta y diversidad energética, adecuándola a los requerimientos de la demanda, en la búsqueda de sostener un camino de crecimiento de la producción y el empleo que permita reducir la pobreza y aumentar la calidad de vida, parecen ser contribuciones posibles a partir de la generación de biogás a partir de desechos agropecuarios.

El cambio en el corte en la nueva Ley de Biocombustibles, a contramano de lo que hace el mundo, complica el cumplimiento de los compromisos internacionales previos, imponiendo la necesidad de buscar compensaciones. El aprovechamiento de residuos agropecuarios contribuiría en este sentido.

Recordando que el rastrojo cumple funciones relevantes en el campo, su remoción completa no debe ser considerada. El porcentaje conveniente debe evaluarse en cada caso, contemplando las características del suelo, clima, cultivo, rotación y costos de recolección. En el trabajo se realizaron las estimaciones en base a un criterio unificado, que no inhibe la posibilidad remover el 100% de rastrojos cada dos o tres años o de la mitad del área en cultivo. Tales criterios y decisiones escapan a los objetivos del trabajo, que maneja una mirada macroeconómica.

Como resultado, se obtuvo que detrás de los residuos del bovino (de recolección compleja), el mayor potencial de producción de biogás lo dan los rastrojos de maíz y soja, debido al elevado potencial, en el caso del primero, y al significativo volumen en ambos. Las excretas de porcinos, bovinos-tambo o engorde a corral resultan de fácil recolección, por lo que abundan las investigaciones y análisis de factibilidad, pero su contribución a la matriz energética resulta cuantitativamente menos relevante, ubicándose en los últimos lugares.

Finalmente, pensando en dar alivio a la balanza comercial y al requerimiento de divisas, a partir de la sustitución de importaciones energéticas, encontramos que con remoción de rastrojos del 50% y aprovechamiento de bovinos-tambo y porcinos, en los últimos dos años del análisis se hubieran podido evitar las compras externas, quedando un saldo exportable del 8% del potencial de producción de biogás. Por otra parte, en 2014-2017 hubiera sido factible reducir, aproximadamente, el 60% de las importaciones de energía, y en 2018, el 85%.

Recordando la variedad de fuentes de biomasa residual disponibles en Argentina, destacando, los residuos forestales (de elevado potencial energético), además de los de origen industrial y urbano, parecería que el camino a la solución de los problemas energéticos y ambientales de Argentina puede ser el de la transformación de desechos en bioenergía.

Lejos de los objetivos de este trabajo estuvo la medición de costos de remoción y recolección de residuos, adecuación, generación de energía y cálculo de ingresos, así como la medición del impacto ambiental que implica, tanto el aprovechamiento de los desechos, como su descarte. Corresponde a futuras líneas de análisis, sospechando que la organización empresaria podría ir de la mano del cooperativismo. También escapó al presente trabajo la incorporación de valores monetarios, quedando circunscripto a la estimación de volúmenes de producción. Nuevamente, consideramos de interés la incorporación de estas dimensiones en futuras investigaciones.

En vistas de nuestras limitaciones técnicas respecto de la evaluación de la metodología de estimación de excretas, rastros y potencial de producción de biogás, se probaron las diferentes opciones obrantes en la bibliografía, lo que nos ha permitido justificar las estimaciones realizadas.

\*El presente artículo fue presentado en *VII-CLADHE* 2022, Lima, Perú, 04/03/2022.

## **Bibliografía**

- Alonso-Estrada, D.; Lorenzo-Acosta, Y.; Díaz-Capdesuñer, Y.M.; Sosa-Cáceres, R. y Angulo-Zamora, Y. (2014). “Tratamiento de residuales porcinos para la producción de biogás”. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar* 48(3): 16-21.
- Bolsa de Cereales (BCBsAs) (2021). *Bolsa de Cereales. Estimaciones Agrícolas*. <https://www.bolsadecereales.com/> (consultado 09/09/2023).
- Bolsa de Comercio de Rosario (2020). *Bolsa de Comercio de Rosario*. <https://www.bcr.com.ar/es> (consultado 10/09/2023).
- CAMMESA (2022). *CAMESSA*. Buenos Aires, Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico. <https://portalweb.cammesa.com/default.aspx> (consultado 10/09/2023).
- Chemes, E. (2019). *Generación de bioenergía a partir de biomasa residual de feed-lot*. Tesis de grado. Tucumán, Universidad Tecnológica Nacional.
- De Lucas Herguedas, A.I.; del Peso Taranco, C.; Rodríguez García, E. y Paniagua, P.P. (2012). *Biomasa, biocombustibles y sostenibilidad*. Palencia, Centro Tecnológico Agrario y Agroalimentario.
- European Biogas Association (EBA) (2020). *European Biogas Association*. Bruselas, EBA. <https://www.europeanbiogas.eu/> (consultado 10/09/2023).
- FAO (2020). *Actualización del balance de biomasa con fines energéticos en la Argentina. Documento técnico n° 19*. Buenos Aires, FAO. [http://www.probiomasa.gob.ar/\\_pdf/19-Actualizacion-balance-biomasa.pdf](http://www.probiomasa.gob.ar/_pdf/19-Actualizacion-balance-biomasa.pdf) (consultado 10/09/2023).

- \_\_\_\_\_. (2019). *Modelo de negocio de aprovechamiento energético de biogás en criaderos de cerdos*. Colección *Informes Técnicos n°5*. Buenos Aires, FAO.
- Flores Marco, N.; Hilbert, J.; Carballo, S. y Anschau, A. (2009). *Potencial de producción e biogás en la Provincia de Santa Fe*. Instituto de Ingeniería Rural. INTA-Castelar. Buenos Aires, Mimeo.
- Hilbert, J. y Caratori, L. (2021). *El potencial de los biocombustibles argentinos para contribuir al cumplimiento de las contribuciones de Argentina en el marco del Acuerdo de París*. Buenos Aires, INTA y Fundación Torcuato Di Tella.
- Hilbert, J.; Dale, B.; Lorella, R.; Fabbri, C.; Kurt, T. y Woods, J. (2018). “El sistema biogas done right (biogás hecho correctamente) y su potencial impacto en Argentina”. *Revista RedBioLAC*: 14-19.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC) (2022). *Instituto Nacional de Estadística y Censos*. <https://www.indec.gob.ar/> (consultado 10/09/2023).
- INTA (2018). *Guía para productores familiares porcinos. Grupos de abastecimiento local Chacra Experimental Integrada Barrow*. Tres Arroyos, INTA, Ministerio de Agroindustria y Ministerio Desarrollo Social.
- Maisonave, R.; Millares, P. y Lamelas, K. (2016). *Buenas prácticas de manejo y utilización de efluentes porcinos*. Buenos Aires, Ministerio de Agroindustria de la Nación.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la República Argentina (MAGyP) (2021a). *Estimaciones agrícolas*. Buenos Aires, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación. <https://datosestimaciones.magyp.gob.ar/> (consultado 10/09/2023).
- \_\_\_\_\_. (2021b). *Informe anual de potencial de biogás 2021. Engorde bovino a corral*. Buenos Aires, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la República Argentina.
- \_\_\_\_\_. (2021c). *Resultados económicos ganaderos. Informe trimestral n° 40*. Buenos Aires, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación.
- \_\_\_\_\_. (2020). *Observatorio bioeconomía*. Buenos Aires, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. [https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/observatorio\\_bioeconomia/](https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/observatorio_bioeconomia/) (consultado 10/09/2023).
- Redagrícola (2017). “Lo básico para entender el biogás”. *Redagrícola*. <https://www.redagricola.com/cl/lo-basico-entender-biogas/> (consultado 10/09/2023).
- Secretaría de Energía de la República Argentina (2022). *Argentina.gob.ar*. <https://www.argentina.gob.ar/> (consultado 10/10/2023).
- \_\_\_\_\_. (2021). *Balances Energéticos Nacionales*. <https://www.argentina.gob.ar/economia/energia/hidrocarburos/balances-energeticos> (consultado 10/10/2023).
- \_\_\_\_\_. (2016). *Balance Energético Nacional 2015, Documento Metodológico, 2015*. <https://www.argentina.gob.ar/economia/energia> (consultado 10/09/2023).

- \_\_\_\_\_. (2022). *Argentina.gob.ar*. Obtenido de Proyectos adjudicados del Programa RenovAr. Rondas 1, 1.5 y 2: <https://www.minem.gob.ar/www/833/25897/proyectos-adjudicados-del-programa-renovar>
- SENASA (2021). *SENASA. Informes y estadísticas*. Buenos Aires, Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria.
- Unkovich, M.; Baldock, J. y Forbes, M. (2010). “Variability in Harvest Index of Grain Crops and Potential Significance for Carbon Accounting: Examples from Australian Agriculture”. *Advances in Agronomy* 105(1): 173-219.
- Varnero Moreno, M.T. (2011). *Manual de biogás*. Santiago, FAO.
- Varnero Moreno, M.T. y Arellano, J. (1990). *Aprovechamiento racional de desechos orgánicos*. Santiago, Universidad de Chile.
- Wassner, D. (2018). “Cultivos para Biomasa Energética”. Curso de Bioeconomía I. Buenos Aires, Ministerio de Agroindustria, Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva y Bolsa de Cereales de Buenos Aires.