

# Economía de la energía: biogás y residuos ganaderos<sup>1</sup>

Daniel Tomasini<sup>1</sup>; Hernan Ezequiel Suarez<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Profesor Asociado de la Cátedra de Economía General — <sup>2</sup> Ayudante Primera de la Cátedra de Economía General



La Argentina tiene una importante oportunidad comercial para consolidar su papel de exportador de carne, en un mundo donde una parte importante de la población presiona por acceder al consumo de proteínas animales, debido a mejoras en su nivel de vida. La contracara de esta oportunidad es el impacto ambiental que la actividad genera, generalmente asociado al manejo inadecuado del estiércol y las aguas residuales, provocando un impacto ambiental negativo no sólo a nivel local, sino también a nivel de cuenca hídrica y global por las emisiones de gases de efecto invernadero. Las fuentes no puntuales de contaminación (producción extensiva) ampliamente dispersas están cediendo el paso a fuentes puntuales que si bien crean mayores daños en ámbito local, resultan sin embargo más fáciles de controlar. El trabajo se focaliza en el manejo de los residuos en feedlots y tambos con el objeto de analizar los costos y beneficios económicos y ambientales tanto privados como sociales, a través de procesos de fermentación anaeróbica (biodigestores) y la generación de electricidad a partir del biogás producido. Se toma como referencia un modelo de planta de generación de biogás y energía eléctrica de 1,2 MWh de potencia, basado en la fermentación de silaje de maíz y de residuos ganaderos de un establecimiento de engorde a corral de gran escala. Se considera que la cantidad total de energía posible de ser generada en feedlots comerciales, bajo este modelo productivo, no sólo contribuye energéticamente a nivel nacional (22 MW de potencia), sino también a nivel local por el beneficio ambiental que implicaría la estabilización anaeróbica de estiércol bajo condiciones controladas reduciendo significativamente el impacto potencial de estos residuos en el aire y en la calidad del agua.

<sup>1</sup> Este documento se basa en información producida en la tesis de grado "Economía de la gestión ambiental de residuos en establecimientos ganaderos intensivos" (2017). Hernán Suarez

## Introducción y planteo del problema

El crecimiento demográfico y el aumento de los ingresos, así como la transformación de las preferencias alimentarias, están estimulando un acelerado incremento de la demanda de productos pecuarios. Se prevé que la producción mundial de carne se incrementará en más del doble para el año 2050.

La Argentina tiene una importante oportunidad comercial para consolidar su papel de exportador de carne, en un mundo donde una parte importante de la población presiona por acceder al consumo de proteínas animales, debido a mejoras en su nivel de vida. La contracara de esta oportunidad es el impacto ambiental que la actividad genera (agua, suelo, aire y biodiversidad), que generalmente se asocian al manejo inadecuado del estiércol y las aguas residuales, provocando un impacto ambiental negativo no sólo a nivel local, sino también a nivel de cuenca hídrica y global por las emisiones de gases de efecto invernadero.

Simultáneamente se reconocen cambios en los patrones de distribución geográfica de la producción pecuaria, que se traslada de las áreas rurales a las zonas urbanas y periurbanas con el fin de acercarse a los consumidores. Las fuentes no puntuales de contaminación ampliamente dispersas están cediendo el paso a fuentes puntuales que si bien crean mayores daños en el ámbito local, resultan sin embargo más fáciles de controlar.

La presencia de establecimientos sin instalaciones adecuadas incide directamente en la posibilidad de desarrollo sustentable de poblaciones y producciones vecinas por la presencia permanente de olores nauseabundos. Existen pérdidas económicas que generan la contaminación de aguas superficiales y profundas, aire y suelo, la proliferación de vectores (roedores, moscas), el conflicto con las poblaciones y la contaminación visual con desvalorización del paisaje. A eso se suma que las actividades pecuarias son responsables de la emisión de

cantidades considerables de gases de efecto invernadero (metano, dióxido de carbono y óxido nitroso).

El proceso de generación de biogás

La fermentación anaeróbica es un proceso natural que ocurre en forma espontánea en la naturaleza y forma parte del ciclo biológico. De esta forma podemos encontrar el denominado "gas de los pantanos" que brota en aguas estancadas, así como el gas producido en el tracto digestivo de los ruminantes como los bovinos. En todos estos procesos intervienen las denominadas bacterias metanogénicas.

El biogás es un gas combustible que se genera a partir de la degradación de biomasa mediante la acción de microorganismos y otros factores, en ausencia de oxígeno (digestión anaeróbica). Es una mezcla de metano, dióxido de carbono y por cantidades menores de  $\text{SH}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ . El metano es el vector energético y su composición oscila entre el 50 hasta 75 %, y brinda un poder calorífico que oscila entre los 5500 y 6000 Kcal.

Tras las guerras mundiales comienza a difundirse en Europa las llamadas fábricas productoras de biogás cuyo producto se empleaba en tractores y automóviles de la época. En todo el mundo se difunden los denominados tanques Imhoff para el servicio público de tratamiento de aguas cloacales. El gas producido se lo utilizó para el funcionamiento de las propias plantas, tanto directamente como transformado en electricidad, y se llegó a abastecer parcialmente de energía a algunas ciudades.

Esta difusión se ve interrumpida por el fácil acceso a los combustibles fósiles y recién en la crisis energética de la década del 70 se reinicia con gran ímpetu la investigación y extensión en todo el mundo incluyendo la mayoría de los países latinoamericanos.

Los últimos 20 años han sido fructíferos en cuanto a descubrimientos sobre el funcionamiento del proceso microbiológico y bioquímico gracias al nuevo material de laboratorio que permitió el estudio de los microorganismos intervinientes en condiciones anaeróbicas.

Estos progresos en la comprensión del proceso microbiológico han estado acompañados por importantes logros de la investigación aplicada obteniéndose grandes avances en el campo tecnológico. Los países generadores de tecnología más importantes en la actualidad son: China, India, Holanda, Francia, Gran Bretaña, Suiza, Italia, EE.UU., Filipinas y Alemania.

En China existen 42 millones de biodigestores (principalmente de baja escala). En Alemania trabajan 6.000 plantas con una generación global de 2300 MW e implica el uso de casi 600.000 hectáreas de maíz y 15 millones de toneladas de estiércoles. La energía generada es suficiente para abastecer 3 millones de hogares. La diferencia entre estos casos es que en China el estado subsidia la construcción de las plantas y en Alemania el precio de venta de la energía.

## Objetivos

El trabajo se focaliza en el manejo de los residuos en establecimientos intensivos ganaderos con el objeto de analizar los costos y beneficios económicos y ambientales tanto privados como sociales, a través de procesos de fermentación anaeróbica (biodigestores) y la generación de electricidad a partir del biogás producido y de biofertilizante

El estudio profundiza en el proceso de generación de biogás y biofertilizantes, su análisis económico y una aproximación a la potencialidad energética y ambiental del manejo de los residuos.

## Metodología

El estudio se referencia sobre un modelo de planta de generación de biogás y energía eléctrica de 1,2 MWh de potencia, (Bioeléctrica Río Cuarto), basado en la fermentación de silaje de maíz y de residuos ganaderos de un establecimiento de engorde a corral de gran escala, con 5000 cabezas de capacidad. Se analizan los costos y beneficios económicos y ambientales tanto privados como sociales, y se hace una estimación del potencial del sector ganadero como oferente de energía.

Esta escala promedia los proyectos presentados en las rondas 1.5 y 2.0 del programa

Renovar (MINEM, 2017), así como también los establecimientos asociados a la Cámara Argentina de Engordadores de Hacienda Vacuna (CAEHV) que varía entre 5450 y 6200 animales (CAEHV, 2008).

Se incorpora una comparación técnica y económica de un caso de generación eléctrica de 1 MWh con una planta de biogás de alta eficiencia, que se basa en estiércol de cerdo y silaje de maíz (Hilbert, INTA 2010).

La diferencia reside en que 1 metro cubico de estiércol de cerdos (provenientes de una explotación de ciclo completo, estabulado todo el año muy común en nuestro país) tiene una concentración de materia seca de 1 hasta 2 %, al igual que el estiércol de vacas lecheras, generando 4,2 m<sup>3</sup> de biogás/tn de materia fresca. En cambio, el estiércol de vacunos de feedlot la concentración es de 8 %, generando 25,6 m<sup>3</sup> de biogás por cada tonelada de materia fresca.

Respecto del material verde, una tonelada de silaje de maíz (con la planta entera, con un promedio de 32 % materia seca), como se utilizan en tambos como forraje de vacas lecheras, produce 190/200 m<sup>3</sup> de biogás por tonelada de materia verde. El proceso de digestión anaeróbica solamente en base a silaje de maíz no funciona correctamente dado que no se generan las condiciones ideales para la degradación por parte las bacterias por lo tanto el agregado de otros elementos que reduzcan el porcentaje de sólidos y aporten inóculo de bacterias como son los estiércoles. De esta manera se logra llegar a una mezcla semilíquida con porcentajes de sólidos entre 5 hasta 15 % de materia seca.

Si bien los estiércoles son muy buenos para la producción de biogás, porque contienen bacterias que provienen de los tractos digestivos de los animales su fracción orgánica se ve reducida y por lo tanto, no tienen un alto potencial de producción de biogás. La mezcla de los estiércoles con sustancias de alto potencial para la generación de biogás se denomina co-digestión. La misma aumenta significativamente la capacidad de producción de biogás por cada planta de tratamiento.

Para la generación de electricidad se utilizan motores de combustión interna, con equipos especialmente diseñados para el uso de biogás. Los subproductos de la generación de electricidad son calor y los efluentes del proceso anaeróbico, los biofertilizantes.

En cuanto a la energía térmica producto de la cogeneración y obtenida a través de la instalación de intercambiadores de calor, es utilizada para mantener la temperatura de trabajo de los biodigestores. El sistema de cogeneración permite obtener valores superiores a 40% de eficiencia eléctrica y 40% de eficiencia térmica.

Los biofertilizantes son valorados en base a su contenido de Nitrógeno y Fosforo como reemplazo de los fertilizantes comerciales, a lo que se suma su contenido orgánico que contribuye a la recuperación de materia orgánica en el suelo.

## Resultados y conclusiones

El estudio desarrolla la comparación económico-financiera de diferentes montos de inversión necesarios, los precios posibles de la energía producida y la factibilidad de uso final y valoración del biofertilizante, para dos casos propuestos:

I. La experiencia desarrollada por Bioeléctrica Río Cuarto, propiedad de la empresa Biomass Crop SA, para un feedlot de 5000 cabezas y silaje de maíz.

II. El estudio de generación eléctrica de 1 MWh con una planta de biogás de alta eficiencia (Hilbert, 2010) equivalente a la anterior, pero que funciona en base a residuos de cerdo.

## El modelo productivo

Se diseñó un modelo de generación de biogás y energía eléctrica de 1,2 MW de potencia, basado en la fermentación de silaje de maíz y de residuos ganaderos de un establecimiento de engorde a corral de gran escala, con 5000 cabezas de capacidad. La información de base fue provista por el emprendimiento Bioeléctrica Río Cuarto (Biomass Crop SA, 2016), la que fue completada con datos técnicos de diseño y operación para este tipo de instalaciones.

El modelo es de codigestión de silo de maíz con estiércol vacuno, en una proporción de 135 tn MF de estiércol (8% MS) y 57 tn MF de silo (32% MS) por día de funcionamiento del digestor de una capacidad de 6.000 M3.

Para producir el material verde (silo de maíz) se requieren 500 hectáreas de cultivo de maíz.

Se espera una producción de 14.400 m<sup>3</sup> /día y su transformación en 28,8MWh de electricidad. Para los cálculos operativos se considera un factor de capacidad y disponibilidad entre 80 % y 95%.

## Acerca de las inversiones

Para el caso propuesto por Hilbert se ha estimado una inversión de 3.000.000 USD y para el caso de Bioeléctrica Río Cuarto se definió una inversión de 4.500.000 USD. (Información de la empresa) de la cual se detallan sus componentes en la Tabla 1.



*Bioeléctrica Río Cuarto.*

En función de los resultados financieros más abajo descritos para ambos casos, resulta la posibilidad que representen casos extremos, ya que en el caso de Bioeléctrica a cualquier precio de la energía propuesto se genera quebranto económico. Sin embargo la empresa se adjudicó la posibilidad de invertir en el Plan Renovar y comprometió la venta de la energía a la red.

Por otra parte la menor inversión en el planteo de Hilbert asociada los menores precios de adjudicación del Plan RenovAr (160 USD/MWh), genera excesivas ganancias, que no permiten asegurar su realidad. Por lo que se concluye que un monto adecuado de inversión estaría por encima de

los 3 millones y por debajo de 4,5 millones de dólares.

**Tabla 1. Detalle de los componentes de inversión**

Rubro	USD	%
Estudios Preliminares	37.000	1%
Ingeniería	304.000	7%
Terreno	150.000	3%
Preparación de Terreno	65.000	1%
Platea Ensilado	280.000	6%
Laguna de Biofertilizante	30.000	1%
Tanques	1.357.000	30%
Motogenerador	618.000	14%
Equipamiento	514.000	11%
Instalaciones	650.000	14%
Edificaciones	220.000	5%
Motovehículos	155.000	3%
Puesta en Marcha	120.000	3%
<b>TOTAL</b>	<b>4.500.000</b>	<b>100%</b>

Fte: Biomass Crop S.A.

### *Acerca del precio de la energía*

En el marco de la política energética nacional, la Ley 26.190 “Régimen de Fomento Nacional para el uso de fuentes renovables de energía destinada a la producción de energía eléctrica” y su modificatoria Ley 27.191, orienta y promueve el uso de las fuentes renovables con destino a la producción de energía eléctrica como una política de Estado de largo plazo con aptitud para asegurar los beneficios de las energías limpias para el país y sus habitantes. La norma impulsa a que en 2025 el porcentaje de participación de las nuevas fuentes alcance el 20% de la oferta energética nacional.

Una de las fuentes previstas y participantes del programa es la producción de biogás para el que se han asignado precios de alrededor entre 154 y 160 USD/MWh para

una potencia acumulada de 42,4 Mw ofertada por 26 emprendimientos (Plan Renovar, ronda 1.5 y 2.0)

Otro precio de referencia incorporado al estudio, es el que reciben las cooperativas eléctricas en el marco del fondo de inversión (FITBA), el que aporta la diferencia del costo de lo que paga la cooperativa eléctrica al sistema nacional con el costo de la energía producida en las inversiones locales. De esta manera se alcanzaría un precio máximo de 190 USD/MWh.

### *Acerca del biofertilizante*

El barro residual del proceso de metanización de los materiales descriptos (estiércol y silo de maíz) contienen un interesante nivel de Nitrógeno y Fósforo, que junto al nivel de materia orgánica estabilizada presente, lo definen como un fertilizante orgánico de muy buen impacto.

No se ha podido establecer un precio probable de venta del fertilizante, ni los costos de manipulación, transporte y distribución del mismo. Sólo como una interpretación de su importancia en la sostenibilidad ambiental y económica del emprendimiento, se valoró su contenido en Nitrógeno y Fósforo por comparación de los contenidos en fertilizantes tradicionales.

La incorporación de esta variable en los flujos de caja de los casos arriba desarrollados, significó un cambio fundamental en la rentabilidad del sistema.

### *Acerca de la rentabilidad del sistema*

Se analiza una situación de costo-beneficio para el caso considerando las inversiones entre 3 y 4,5 millones de USD, y un precio mínimo de 160 USD/MWh (Plan Renovar) y un máximo posible de 190 USD/MWh.

Se presenta una tabla costo-beneficio de una de las combinaciones posibles (inversión y precio máximos) en la tabla 2, con las alternativas de incorporación o no de ingresos por uso del biofertilizante.

**Tabla 2. Costo-beneficio con inversión y precios máximos**

	año I	año II	año III	año IV	año V	año VI	año VII	año VIII	año IX	año X
Ocupación de la planta	80%	80%	100%	90%	100%	90%	100%	100%	90%	100%
Inversión (4,5millUSD): amortización más intereses crédito	-810.000	-774.000	-738.000	-702.000	-666.000	-630.000	-594.000	-558.000	-522.000	-486.000
Producción kWh	7.190.208	7.190.208	8.987.760	8.088.984	8.987.760	8.088.984	8.987.760	8.987.760	8.088.984	8.987.760
Costo Silaje Maíz (29 USD/tn)	-410.550	-410.550	-513.187	-461.868	-513.187	-461.868	-513.187	-513.187	-461.868	-513.187
Costo Mano de Obra	-103.415	-103.415	-103.415	-103.415	-103.415	-103.415	-103.415	-103.415	-103.415	-103.415
Otros Costos	-371.949	-371.949	-464.937	-418.443	-464.937	-418.443	-464.937	-464.937	-418.443	-464.937
Ingresos por Venta Energía (0,190 USD/KWH)	1.366.140	1.366.140	1.707.674	1.536.907	1.707.674	1.536.907	1.707.674	1.707.674	1.536.907	1.707.674
FLUJO de CAJA (sin biofertilizante)	-329.775	-293.775	-111.865	-148.820	-39.865	-76.820	32.135	68.135	31.180	140.135
Ingresos por Valorización del biofertilizante	132.974	132.974	166.217	149.595	166.217	149.595	166.217	166.217	149.595	166.217
FLUJO de CAJA (con biofertilizante)	-196.801	-160.801	54.353	776	126.353	72.776	198.353	234.353	180.776	306.353

Fuente: Suarez, H. (2017)

En función de estas posibles combinaciones de monto de inversión y precios de la energía, se descartó por resultado inviable la combinación de la inversión alta (4,5 millones de US\$) con un precio bajo de venta de la energía de 160 USD/MWh. La combinación de inversión baja (3 millones USD) con un precio alto de venta de la energía 190 USD/MWh, también fue descartada por arrojar un resultado excesivamente positivo.

En los dos escenarios posibles, el ingreso por venta de energía al sistema eléctrico sólo permite acceder a TIR negativas (-18% y -55%), lo que genera dudas sobre la sostenibilidad financiera de este tipo de emprendimiento.

La industria y los empresarios vinculados a esta propuesta tecnológica han planteado repetidamente la necesidad de incrementar los precios de referencia del Plan RenovAr para asegurar la oferta de inversión en plantas de biogás.

Sin embargo, es necesario remarcar la diferencia de costos reales en las licitaciones del Plan entre las propuestas de energía eólica y solar (50 USD/MWh) con el valor de oferta de biogás arriba detallado, y más aún, comparados con el precio monómico de referencia de la energía eléctrica (CMMESA, 2017) de 72 USD/MWh.

Esta comparación lleva a preguntarse la razón del subsidio por precio que recibe el biogás, cuatro veces mayor que el competidor eólico-solar y más del doble del pre-

cio de referencia. El análisis alcanzado en este estudio no permite valorar la situación, más que en estimar que se podría:

I. estar promoviendo esta fuente energética con el objeto de asegurar un desarrollo tecnológico local y,

II. estar internalizando los costos externos por contaminación vía precio de la energía. Una componente crítica del sistema es la valorización y uso del biofertilizante, lo que genera situaciones positivas en la relación costo-beneficio (Tabla 3). Sumado a la necesidad del mismo en el sistema intensivo de producción agrícola con fines energéticos.

**Tabla 3. Tasas de retorno según precios de energía y biofertilizante**

Ingresos	Escala de Inversión y precio de energía	
	3 M USD (160 USD/MWh)	4,5 M USD (190 USD/MWh)
Valor de Energía	-55%	-18%
Valor de Energía y Biofertilizantes.	18%	22%

Fuente: Suarez, H. (2017)

Esta situación nos obliga a evaluar el doble impacto ambiental de la gestión del biofertilizante, a través de la valoración económica del procesamiento energético de residuos animales, incorporando los costos de oportunidad de la contaminación (pérdida de nutrientes por lixiviación o escu-

rrimiento y/o emisión de gases con efecto invernadero) y del procesamiento convencional (piletas de óxido-reducción y decantación).

### *Acerca de la potencialidad energética sectorial*

Se estima que en la Argentina existen 2.983 Feedlots, que cuentan con 1.302.769 de cabezas de ganado ubicados principalmente en las provincias de Buenos Aires, Santa Fe y Córdoba (MINAGRI, 2014). Hay que distinguir entre feedlot comerciales, estacionales o de oportunidad. Los feedlot comerciales son grandes empresas que operan todo el año mientras que los feedlot estacionales operan sólo en condiciones favorables, es decir cuando la relación de precios insumo-producto, grano-carne lo hacen rentable, factor que hace que la mayoría de los feedlots hayan sido principalmente estacionales o de oportunidad. Ello no quita que en la Argentina existan feedlots comerciales que engordan un alto número de cabezas (aprovechando economías de escala) y estén insertos en un sistema productivo que les permite contar con insumos a bajo costo (engorde de terneros o novillos de la producción, alimentos baratos provenientes de la agroindustria).

Una situación similar se plantea para la actividad lechera en el país. Según el último censo disponible (CNA 2002), las provincias con mayor cantidad de tambos en ese momento fueron: Santa Fe, Córdoba y Buenos Aires arrojando un total de 13.316 establecimientos tamberos y 3.425.733 bovinos. Ambas producciones podrían mejorar su eficiencia económica y ambiental de implementarse las medidas necesarias para reducir tanto la producción de GEI como la contaminación por el manejo inadecuado de los efluentes.

En función de la estadística detallada por provincia (CAEHV, 2016) para el sector hotelería tipo feedlot, con 24 establecimientos y un total de 132.200 animales (10

% del sector según SENASA), se producen alrededor de 2.500 toneladas de efluentes por día, transformables en 64.000 m<sup>3</sup> de biogás y 128 MWh/día de energía. Este potencial se multiplica si se repite el modelo con un sistema mixto con silo de maíz y estiércol, alcanzando un total de 534 MWh/día y requiriendo alrededor de 9000 hectáreas adicionales de cultivo de maíz.

La cantidad total de energía posible de ser generada, incluso considerando oportunidades tecnológicas para tambos y feedlots de menor escala, tiene impactos a nivel nacional, pero sobre todo a nivel local, ya que además del aporte energético existe el doble beneficio ambiental (local y global con la reducción de la emisión de GEI) que implicaría la estabilización anaeróbica de estiércol bajo condiciones controladas reduciendo significativamente el impacto potencial de estos residuos en el aire y la calidad del agua. La adecuada valoración económica del beneficio ambiental del procesamiento del estiércol, permitirá asegurar la sostenibilidad económica y la aceptación privada y social del sistema.

Como conclusión final de este estudio, debe mencionarse que el procesamiento anaeróbico de los materiales ganaderos residuales, sólo alcanza niveles de sostenibilidad, en la medida que se lo considere como un proceso integral de gestión energético-ambiental de los residuos y no como una inversión energética independiente y aislada del agroecosistema. Se suma a estas restricciones, el compromiso de superficie adicional para la producción de silaje con fines energéticos.

Por otra parte, el avance de la aplicación del biogás sólo basado en paquetes tecnológicos importados resultará dificultoso y oneroso para la matriz energética nacional. En la medida que se desarrolle y/o adapte la tecnología a las condiciones de costos y escala locales, la propuesta del biogás podrá ser una opción energética ambiental sostenible.

## Referencias Bibliográficas

- Biomass Crop S.A., 2016. Descripción de Costos de Planta Tipo 1MW. <http://www.bioelectrica.com/>
- CAEHV-Cámara Argentina de Engordadores de Hacienda Vacuna. (2008). "Informe de encierre". <http://www.feedlot.com.ar/sitio/>
- Hilbert, Jorge. INTA. (2010) Estudio de caso preliminar de generación eléctrica de 1 MWh con una planta de biogás de alta eficiencia. <https://inta.gob.ar/documentos/>
- MINEM.(2017) RenovAr. Programa de abastecimiento de energía eléctrica a partir de fuentes renovables. <https://www.argentina.gob.ar/renovar/>
- Suarez, Hernan. (2017). Economía de la gestión ambiental de residuos en establecimientos ganaderos intensivos. Facultad de Agronomía. UBA