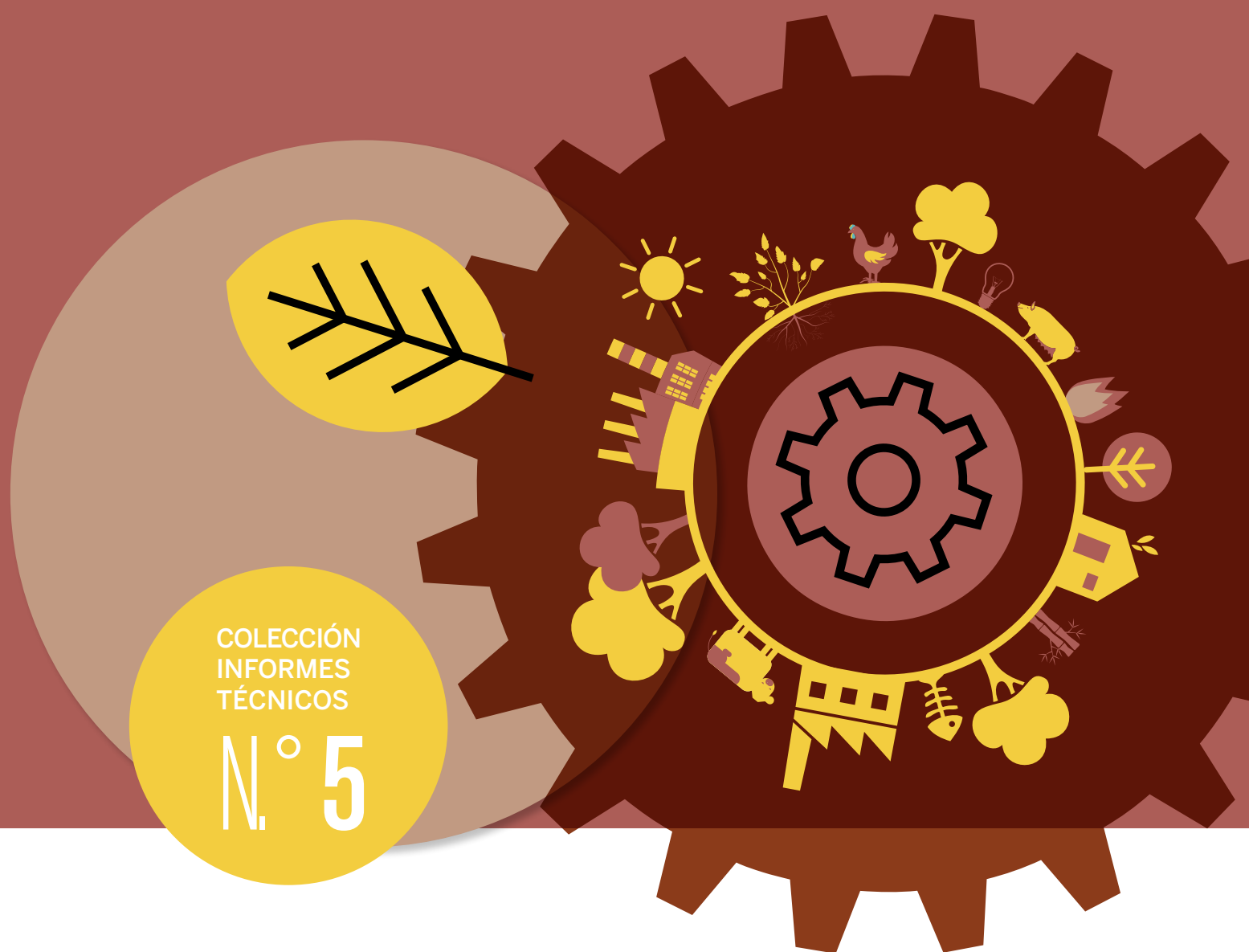




Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

Modelo de negocio de aprovechamiento energético de biogás en criaderos de cerdos



COLECCIÓN
INFORMES
TÉCNICOS

N.º 5

Modelo de negocio de aprovechamiento energético de biogás en criaderos de cerdos

COLECCIÓN INFORMES TÉCNICOS N.º 5

Cita requerida:

FAO. 2019. *Modelo de negocio de aprovechamiento energético de biogás en criaderos de cerdos*. Colección Informes Técnicos N.º 5. Buenos Aires.

Las denominaciones empleadas en este producto informativo y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, por parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), juicio alguno sobre la condición jurídica o nivel de desarrollo de países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites. La mención de empresas o productos de fabricantes en particular, estén o no patentados, no implica que la FAO los apruebe o recomiende de preferencia a otros de naturaleza similar que no se mencionan.

Las opiniones expresadas en este producto informativo son las de su(s) autor(es), y no reflejan necesariamente los puntos de vista o políticas de la FAO.

ISBN 978-92-5-132015-0

© FAO, 2019



Algunos derechos reservados. Este obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 3.0 Organizaciones intergubernamentales.; <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/igo/deed.es>.

De acuerdo con las condiciones de la licencia, se permite copiar, redistribuir y adaptar la obra para fines no comerciales, siempre que se cite correctamente, como se indica a continuación. En ningún uso que se haga de esta obra debe darse a entender que la FAO refrenda una organización, productos o servicios específicos. No está permitido utilizar el logotipo de la FAO. En caso de adaptación, debe concederse a la obra resultante la misma licencia o una licencia equivalente de Creative Commons. Si la obra se traduce, debe añadirse el siguiente descargo de responsabilidad junto a la referencia requerida: "La presente traducción no es obra de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). La FAO no se hace responsable del contenido ni de la exactitud de la traducción. La edición original en inglés será el texto autorizado".

Toda mediación relativa a las controversias que se deriven con respecto a la licencia se llevará a cabo de conformidad con las Reglas de Mediación de la Comisión de las Naciones Unidas para el Derecho Mercantil Internacional (CNUDMI) en vigor.

Materiales de terceros. Si se desea reutilizar material contenido en esta obra que sea propiedad de terceros, por ejemplo, cuadros, gráficos o imágenes, corresponde al usuario determinar si se necesita autorización para tal reutilización y obtener la autorización del titular del derecho de autor. El riesgo de que se deriven reclamaciones de la infracción de los derechos de uso de un elemento que sea propiedad de terceros recae exclusivamente sobre el usuario.

Ventas, derechos y licencias. Los productos informativos de la FAO están disponibles en la página web de la Organización (<http://www.fao.org/publications/es>) y pueden adquirirse dirigiéndose a publications-sales@fao.org. Las solicitudes de uso comercial deben enviarse a través de la siguiente página web: www.fao.org/contact-us/licence-request. Las consultas sobre derechos y licencias deben remitirse a: copyright@fao.org.

Este documento fue realizado en el marco del Proyecto para la promoción de la energía derivada de biomasa (UTF/ARG/020/ARG), iniciativa de los siguientes ministerios:

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca

Luis Miguel Etchevehere
Ministro de Agricultura, Ganadería y Pesca

Andrés Murchison
Secretario de Alimentos y Bioeconomía

Miguel Almada
Director de Bioenergía

Ministerio de Hacienda

Hernán Lacunza
Ministro de Hacienda

Gustavo Lopetegui
Secretario de Gobierno de Energía

Sebastián A. Kind
Subsecretario de Energías Renovables

Maximiliano Morrone
Director Nacional de Promoción
de Energías Renovables

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

Hivy Ortiz Chour
Oficial Forestal Principal
Oficina Regional América Latina

Francisco Yofre
Oficial de Programas
Oficina Argentina

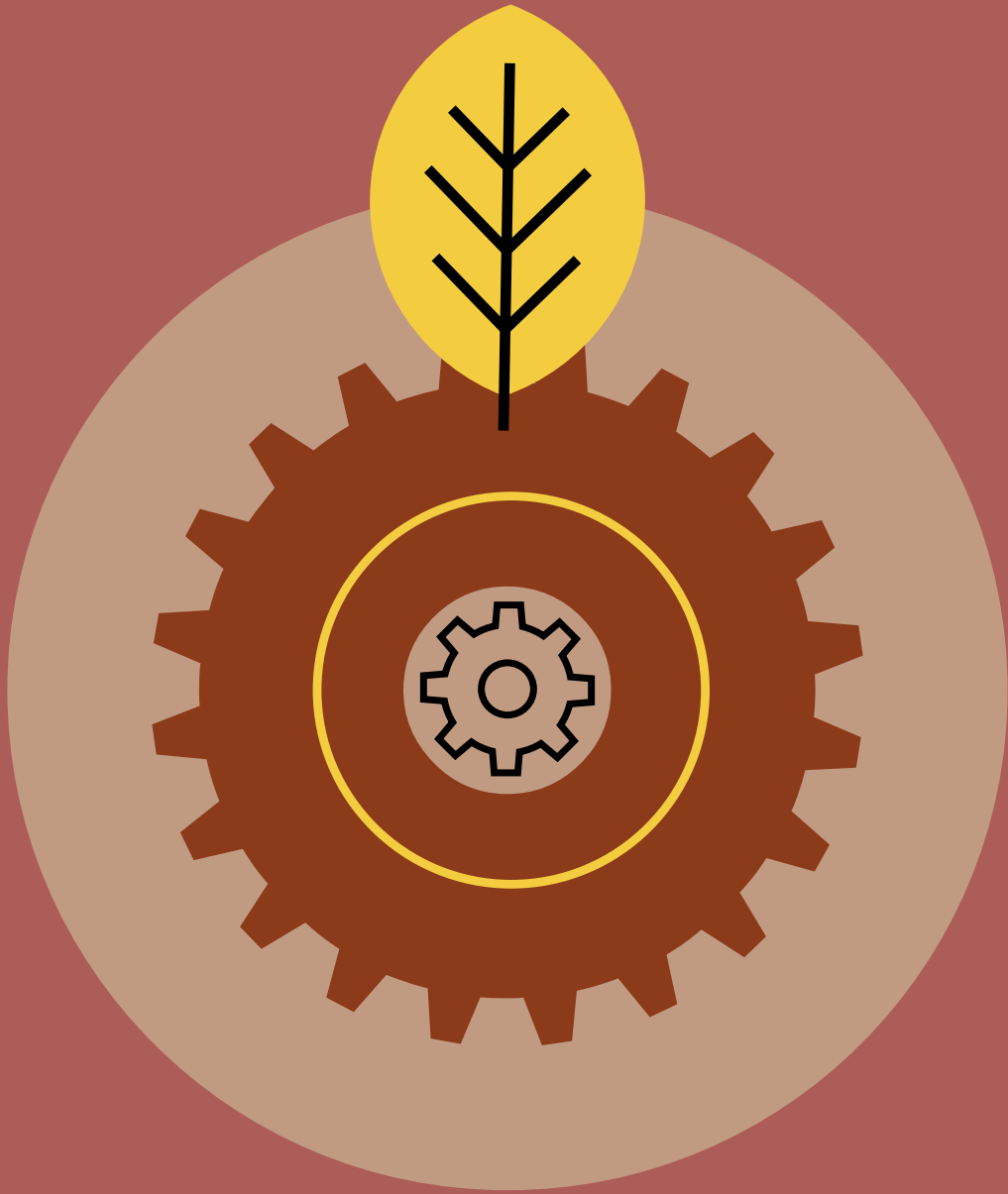
Tomás Portela
Autor

Verónica González
Coordinación Colección

Sofía Damasseno
Colaboración Colección

Alejandra Groba
Edición y corrección

Mariana Piuma
Diseño e ilustraciones



ÍNDICE

Prólogo	vii
Agradecimientos	ix
Siglas y acrónimos	xi
Unidades de medida	xi
Resumen ejecutivo	xiii

1.	
Introducción	1

2.	
Situación de la producción porcina	3
Problema de gestión de efluentes en residuos de cerdos	3
Legislación vigente	4

3.	
Descripción de las empresas analizadas	6
Gestión actual de efluentes y residuos orgánicos	6

4.	
Proyectos de generación de energía	8
Empresa A	9
Potencial de generación de biogás	9
Tecnología elegida para el proyecto y descripción de instalaciones del digestor	9
Potencialidad de uso del biogás	10
Consumo interno del proyecto y costos de operación	12
Inversión del proyecto	14
Análisis financiero	14
Empresa B	15
Tecnología elegida para el proyecto y descripción de instalaciones del digestor	15
Potencialidad de uso del biogás	16
Consumo interno del proyecto y costos de operación	19
Inversión del proyecto	20
Análisis financiero	21
Empresa C	22
Potencial de generación de biogás	22
Tecnología elegida para el proyecto y descripción de instalaciones del digestor	22

Potencialidad de uso del biogás	24	
Consumo interno del proyecto y costos de operación	25	
Inversión del proyecto	27	
Análisis financiero	27	
Comparación los proyectos	28	
Análisis de sensibilidad	28	
Empresa B	28	
Empresa C	28	
Conclusiones	33	
Bibliografía	37	
Anexo I. Esquema de flujo de fondos y análisis financieros complementarios	38	
Anexo II. Marco normativo	42	
Cuadros		
Cuadro 1	Generación media diaria de efluentes en granjas porcinas	4
Cuadro 2	Características de los efluentes de producciones intensivas de cerdos	5
Cuadro 3	Detalle de residuos de los establecimientos	7
Cuadro 4	Pérdidas térmicas, Empresa A	13
Cuadro 5	Sustratos y cosustratos, Empresa B	17
Cuadro 6	Potencial de generación de biogás de sustratos	17
Cuadro 7	Condiciones del digestato, Empresa B	18
Cuadro 8	Pérdidas térmicas, Empresa B	20
Cuadro 9	Potencial de generación de biogás, Empresa C, Modelos A, B y C	23
Cuadro 10	Características del biogás generado, Empresa C	23
Cuadro 11	Costo de producción y ensilado de maíz	23
Cuadro 12	Dimensiones del digestor, Empresa C	25
Cuadro 13	Características de los equipos y generación de energía, Empresa C	26
Cuadro 14	Pérdidas térmicas, Empresa C	26
Cuadro 15	Consumo energético, Empresa C	27
Cuadro 16	Inversión en cada modelo de Empresa C	27
Cuadro 17	Resumen comparativo del análisis financiero de las empresas A, B y C	29
Cuadro 18	Análisis de sensibilidad al precio de la energía eléctrica, Empresa B	30
Cuadro 19	Análisis de sensibilidad al precio de los cosustratos, Empresa B	30
Cuadro 20	Análisis de sensibilidad al precio de la energía eléctrica, Empresa C, Modelos A, B y C	30
Cuadro 21	Análisis de sensibilidad al precio de la energía eléctrica, Empresa C, Modelo D	31
Cuadro 22	Análisis de sensibilidad al precio de los cosustratos, Empresa C, Modelo D	32
Cuadro 23	Análisis de sensibilidad a la distancia de los proveedores de cosustratos, Empresa C	32
Cuadro A-1	Esquema de flujo de fondos, Empresas A y B	38
Cuadro A-2	Análisis con financiamiento, Empresa C, Modelos A, B, C y D	40
Cuadro A-3	Análisis de sensibilidad, Empresa C, Modelos A, B y C	40
Cuadro A-4	Análisis de sensibilidad, Empresa C, Modelo D	41

PRÓLOGO

La matriz energética argentina está conformada, en su gran mayoría, por combustibles fósiles. Esta situación presenta desafíos y oportunidades para el desarrollo de las energías renovables, ya que la gran disponibilidad de recursos biomásicos en todo el territorio nacional constituye una alternativa eficaz frente al difícil contexto energético local e internacional. En este escenario, en 2015, la República Argentina promulgó la Ley 27191, *Régimen de fomento nacional para el uso de fuentes renovables de energía destinada a la producción de energía eléctrica* –que modificó la Ley 26190–, con el objetivo de fomentar la participación de las fuentes renovables hasta que estas alcancen un 20% del consumo de la energía eléctrica nacional en 2025, otorgando a la biomasa una gran relevancia.

La biomasa es una de las fuentes de energía renovable más confiables, es constante y se puede almacenar, lo que facilita la generación térmica y eléctrica. En virtud de sus extraordinarias condiciones agroecológicas, y las ventajas comparativas y competitivas de su sector agroindustrial, la Argentina es un gran productor de biomasa con potencial energético.

La energía derivada de biomasa respeta y protege el ambiente, genera nuevos puestos de trabajo, integra comunidades energéticamente vulnerables, reduce la emisión de gases de efecto invernadero, convierte residuos en recursos, moviliza inversiones y promueve el agregado de valor y nuevos negocios.

No obstante, aún existen algunas barreras y desafíos de orden institucional, legal, económico, técnico y sociocultural que deben superarse para incrementar, de acuerdo con su potencial, la proporción de bioenergía en la matriz energética nacional.

En este marco, en 2012, se creó el Proyecto para la promoción de la energía derivada de biomasa – UTF/ARG/020/ARG (PROBIOMASA), una iniciativa que llevan adelante el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, y la Secretaría de Gobierno de Energía del Ministerio de Hacienda, con la asistencia técnica y administrativa de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).

El Proyecto tiene como objetivo principal incrementar la producción de energía térmica y eléctrica derivada de biomasa a nivel local, provincial y nacional, para asegurar un creciente suministro de energía limpia, confiable y competitiva y, a la vez, abrir nuevas oportunidades agroforestales, estimular el desarrollo regional y contribuir a mitigar el cambio climático.

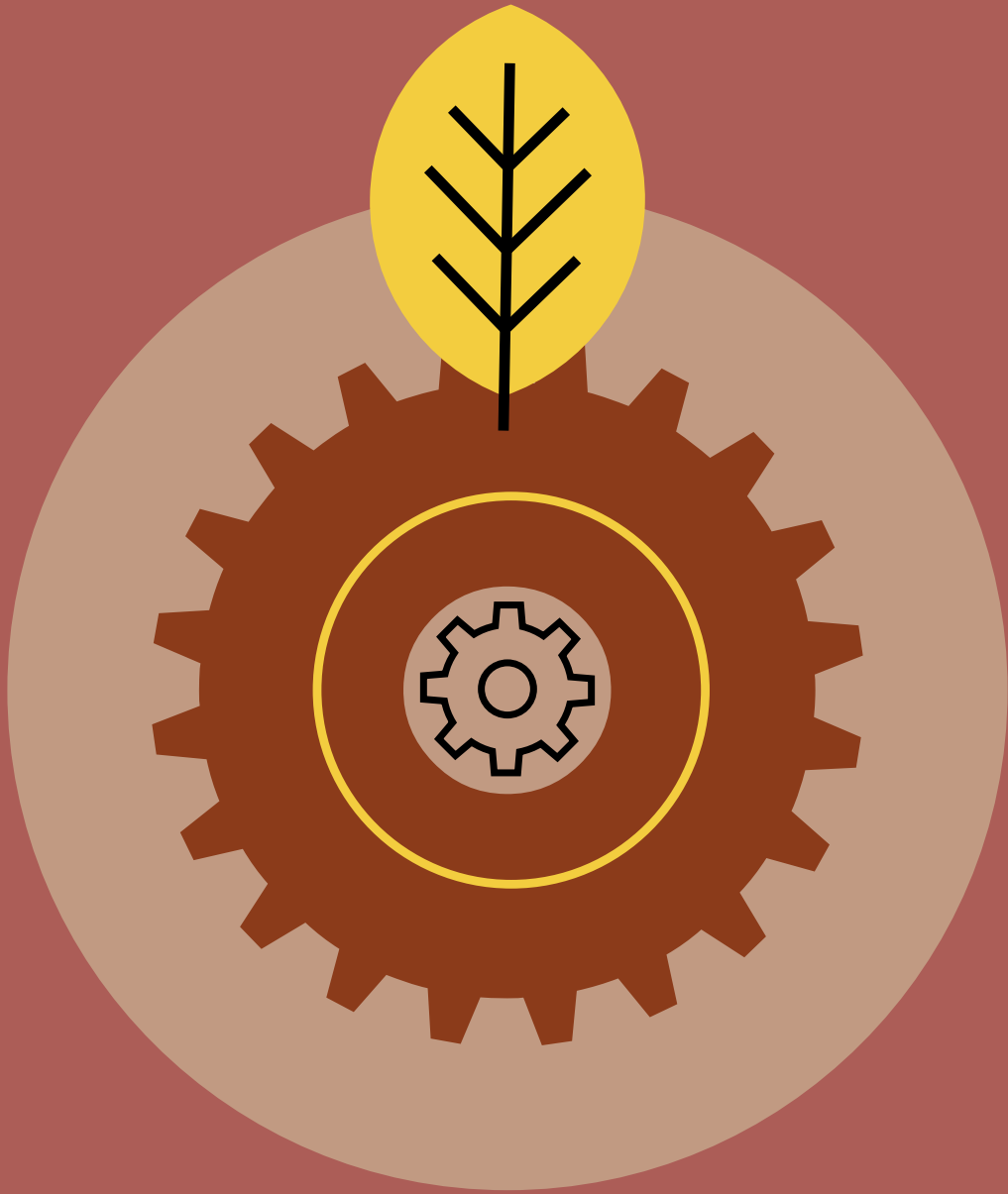
Para lograr ese propósito, el Proyecto se estructura en tres componentes principales con objetivos específicos:

-
- Estrategias bioenergéticas: asesorar y asistir, legal, técnica y financieramente, a proyectos bioenergéticos y tomadores de decisión para aumentar la participación de la energía derivada de biomasa en la matriz energética.
 - Fortalecimiento institucional: articular con instituciones de nivel nacional, provincial y local a fin de evaluar los recursos biomásicos disponibles para la generación de energía aplicando la metodología WISDOM (*Woodfuels Integrated Supply/Demand Overview Mapping*, Mapeo de Oferta y Demanda Integrada de Dendrocombustibles).
 - Sensibilización y extensión: informar y capacitar a los actores políticos, empresarios, investigadores y público en general acerca de las oportunidades y ventajas que ofrece la energía derivada de biomasa.

Esta Colección de Informes Técnicos pone a disposición del público estudios, guías y recomendaciones sobre aspectos específicos de la generación de energía derivada de biomasa, elaborados por consultoras y consultores del Proyecto e instituciones parte, con el propósito de contribuir tanto al desarrollo de negocios como al diseño, formulación y ejecución de políticas públicas que promuevan el crecimiento del sector bioenergético en la Argentina.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a Guido Casanovas por su lectura y comentarios sobre este documento.



SIGLAS Y ACRÓNIMOS

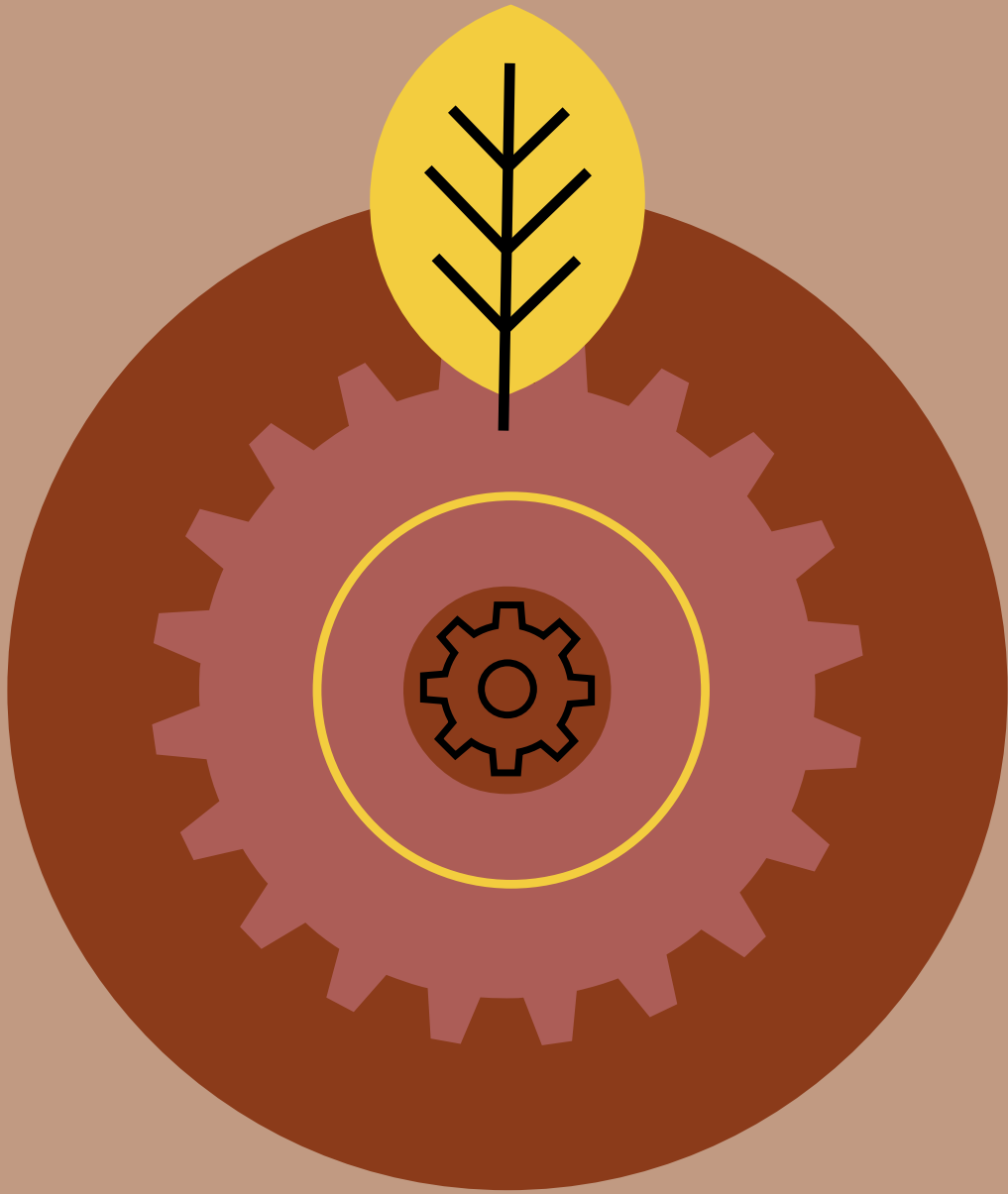
ARS	Pesos argentinos
BTU	<i>British thermal unit</i> – unidad térmica británica
Capex	<i>Capital expenditure</i> – gastos de capital
CSTR	<i>Continuous-flow stirred tank reactor</i>
DBO	Demanda biológica de oxígeno
DQO	Demanda química de oxígeno
LHV	<i>Lower heating value</i> – poder calorífico inferior
MEM	Mercado Eléctrico Mayorista
MEyM	ex Ministerio de Energía y Minería
MS	Materia seca
MV	Masa volátil
RH	Humedad relativa
SA	Sociedad Anónima
SS	Sólidos suspendidos
ST	Sólidos totales
SV	Sólidos volátiles
TIR	Tasa interna de retorno
TRH	Tiempo de retención hidráulica
USD	Dólares estadounidenses
VAN	Valor actual neto

Unidades de medida

°C	grado centígrado	m ²	metro cuadrado
°F	grado Fahrenheit	m ³	metro cúbico
Hz	hercio	mbar	milibar
kcal	kilocaloría	MJ	megajulio
kg	kilogramo	MWh	megavatio hora
km	kilómetro	Nm ³	metro cúbico normal
kWe	kilovatio eléctrico	ppm	partes por millón
kWh	kilovatio hora	psia	libra por pulgada absoluta
l	litro	t	tonelada

Elementos químicos

CH ₄	metano
H ₂ S	sulfuro de hidrógeno
N	nitrógeno
Na	sodio
NO _x	óxidos de nitrógeno
P	fósforo



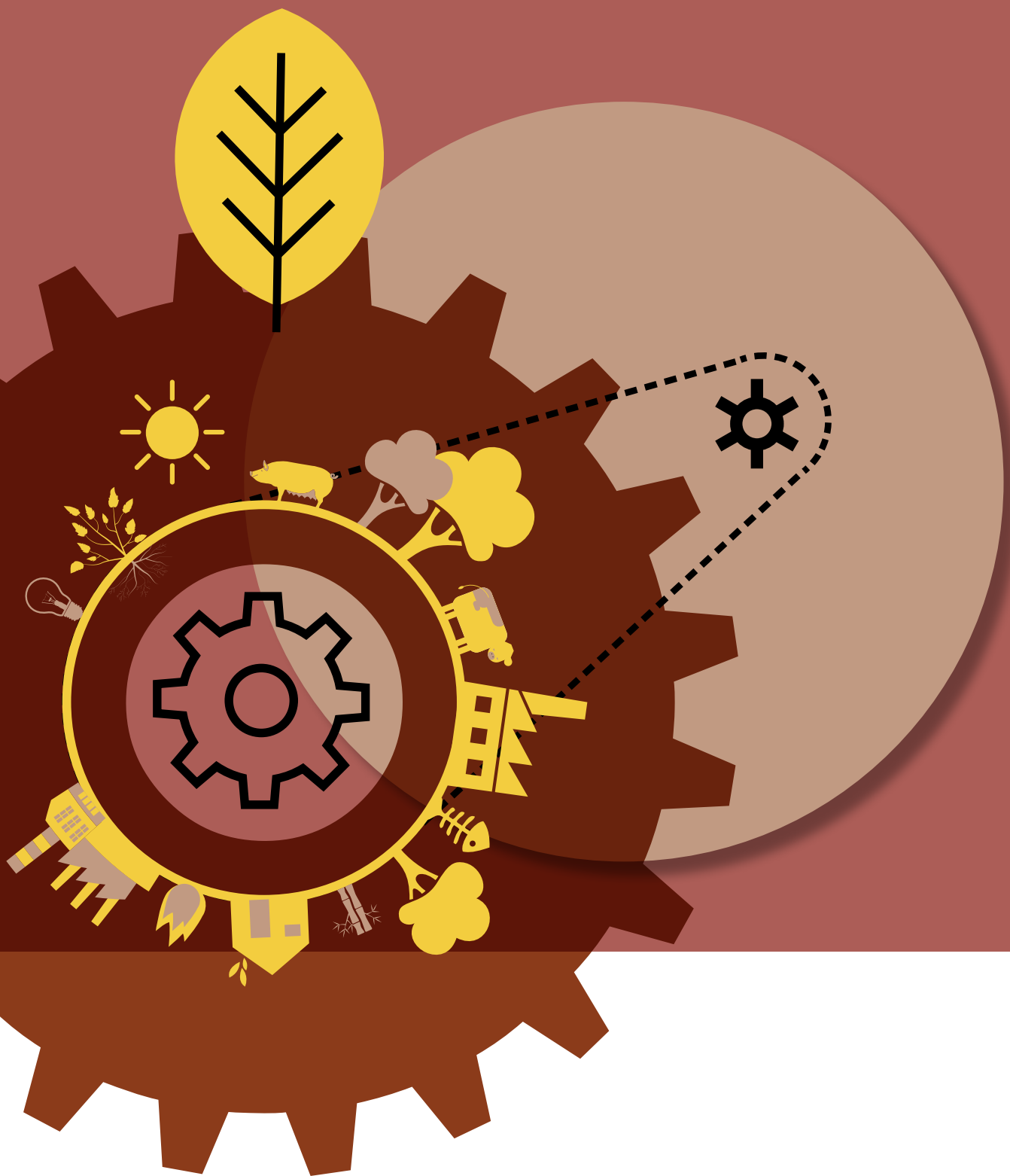
RESUMEN EJECUTIVO

Este informe presenta un resumen del análisis de proyectos de generación de biogás y energía eléctrica a partir de residuos de criaderos de cerdos, con el objetivo de poner en evidencia la complejidad de factores que influyen en este tipo de emprendimientos, y así contribuir al desarrollo de modelos de negocios y a la formulación de políticas sectoriales.

Para realizarlo, se examinaron las inversiones necesarias para proyectos llave en mano de distinta escala en tres empresas, así como sus costos operativos. En algunos casos, se analizó el uso de cosustratos, un factor que debe estudiarse detenidamente al evaluar posibles modelos de proyecto, ya que, si bien estos potencian la generación de energía, también pueden aumentar los riesgos de precio y disponibilidad en el tiempo.

Los proyectos analizados presentan resultados disímiles en términos económico-financieros: desde números rojos hasta recuperación de la inversión en el tiempo y pago de los costos operativos. Como factores fundamentales para la viabilidad de un proyecto surgen el hecho de contar con una base de generación segura, estable en el tiempo y de fácil operación, y el precio de venta de la energía. La inexistencia en el país de un mercado para el efluente tratado como bioabono determinó que no se haya propuesto un precio de venta para este producto.

Una gran limitante para este tipo de proyectos es la alta inversión inicial, razón por la cual en algunos casos se analiza la financiación con un porcentaje de deuda.



1. INTRODUCCIÓN

La generación de efluentes y residuos orgánicos de los sectores agroindustriales puede convertirse en un recurso clave para promover proyectos de bioenergía de distintas escalas en la Argentina. Bajo esta premisa, el Proyecto para la promoción de la energía derivada de biomasa (PROBIOMASA) encargó el desarrollo de modelos de negocios de aprovechamiento energético de biogás en tres sectores productivos: frigoríficos bovinos, tambos y criaderos de cerdos, con el fin de generar información sólida para tomadores de decisiones de los sectores público y privado.

La matriz energética argentina es altamente dependiente de combustibles fósiles. En la búsqueda de nuevas fuentes energéticas para una sociedad con consumo en aumento, la valorización de excretas de la industria porcina surge como una alternativa técnica viable para la generación de biogás a partir de la degradación anaeróbica y su aprovechamiento energético. Un beneficio adicional es que este proceso da como resultado un efluente con valor agronómico que puede considerarse un biofertilizante, capaz de devolver parte de los nutrientes extraídos del suelo por los procesos de cultivo intensivo habituales, con lo que disminuye la necesidad de químicos para la fertilización de los campos. Estas mejoras ambientales y operativas generan como valor agregado, además, una imagen positiva de la empresa entre sus vecinos y clientes.

Si bien esos beneficios son conocidos de forma general, la falta de estudios concretos de las condiciones de los efluentes y su potencial aprovechamiento en la industria local hace que se deba trabajar en los proyectos con estimaciones y valores teóricos.

Este estudio, realizado durante 2017, permitió evaluar la prefactibilidad técnica, económica y ambiental de la generación de energía eléctrica y/o térmica a partir de residuos y efluentes orgánicos en tres criaderos de cerdos de distintas características y escalas, y conocer sus costos de inversión y de operación, los valores de generación de energía, su uso potencial y la capacidad de repago de la inversión. El propósito es que este trabajo sirva como referencia para el fomento de nuevas estrategias energéticas a nivel regional y nacional, con una noción real de la tecnología empleada y su potencialidad de generación de energía.

Para llevarlo a cabo, se partió de información suministrada por personal de los establecimientos y se estimó, con fundamento empírico, el potencial de digestión anaeróbica y de generación de biogás. Los datos necesarios para los cálculos de generación y realización del proyecto que no suministraron los establecimientos fueron supuestos a partir de los de otros establecimientos de la industria con residuos y efluentes similares.

Además de la información brindada por las empresas, se han considerado las condiciones de contorno, ubicación de las plantas, disponibilidad real de residuos propios y de terceros, calidad de estos, posibilidades de entregar la energía y otros factores.

El costo de conexión a la red para poder entregar la energía eléctrica generada fue estimado, debido a las dificultades técnicas de la conexión en cada caso y, particularmente, por la baja generación. Para poder establecer estos costos y requerimientos se debe trabajar con las distribuidoras de energía eléctrica.

Como descripción general, todos los residuos alimentan los digestores anaerobios de mezcla completa, con adecuación de la temperatura mediante intercambiadores de calor. Allí tiene lugar una fermentación por bacterias que trabajan en condiciones de ausencia de oxígeno (anaeróbicas), en tres fases consecutivas de hidrólisis, acidogénesis y metanogénesis. De esta forma, se consigue una estabilización de la materia orgánica y una producción de biogás valorizable energéticamente.

En este análisis se presentaron distintos modelos de proyecto: para la Empresa A, uno de aprovechamiento de los residuos propios; para la Empresa B, uno que también considera cosustratos provenientes de terceros; para la empresa C, que estaba en proceso de ampliación, se analizaron cuatro modelos: uno con uso de los residuos propios al momento de realizar el estudio, otro con los estimados en el corto plazo (con duplicación de la cantidad de madres del criadero), otro con los del proyecto final del establecimiento (que cuadruplica las madres iniciales) y otro con los residuos del proyecto final más cosustratos de terceros. En el caso de la Empresa C, los valores del modelo para la situación existente partieron de información brindada por personal del establecimiento, mientras que los de los tres modelos restantes fueron teóricos.

Respecto del digestato, se consideró que los efluentes se seguirían utilizando de la misma manera y no se les asignó un valor agronómico adicional, ya que no se contaba con su caracterización, ni con un estudio de capacidad de absorción del suelo, de cultivos o flora sobre los que aplicarlos, de napas, ni de impacto en el medio y otros factores que escapen al alcance de este trabajo. Tampoco se estimó un precio de venta del digestato ya que, para lograr un producto que pueda ser aprobado por el Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA) y así poder comercializarlo, se le deberían aplicar tratamientos adicionales que permitan encuadrarlo como enmienda orgánica. No obstante, el aprovechamiento del digestato es recomendado por diferentes estudios, tanto locales como del exterior, algunos de los cuales se adjuntan en la Bibliografía.

2. SITUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN PORCINA

La carne porcina es la de mayor consumo a nivel mundial. En la Argentina, pese que en los últimos años ha experimentado un incremento importante, tiene una demanda muy inferior a la de las carnes bovina y aviar.

Los establecimientos porcinos se distribuyen en todo el territorio nacional, aunque se concentran en el norte de la provincia de Buenos Aires, sur de Santa Fe y centro de Córdoba.

Una serie de mejoras importantes en las tecnologías de la cría de cerdos ha transformado la producción porcina comercial en una industria con un alto nivel de insumos y elevado rendimiento, mediante la concentración e intensificación de las explotaciones. A la vez, como consecuencia de estos cambios, ha surgido el problema del incremento y concentración de las excretas.

Problema de gestión de efluentes en residuos de cerdos

En los sistemas de producción a campo, no intensivos, la baja densidad de animales por hectárea permitía que los residuos fueran gestionados de manera más o menos eficiente, ya que las excretas y purines se utilizaban dentro del propio establecimiento como abonos para el suelo. No existían prácticamente posibilidades de saturar el suelo con estos desechos, y la potencialidad de causar contaminación era difusa, por lo que no se requería un tratamiento de las excretas.

Con el cambio de sistema de explotación y la gran demanda de fertilizantes inorgánicos por parte de la agricultura, esos residuos dejaron de consumirse como fertilizante, y su gestión se convirtió en un problema y una preocupación medioambiental, fundamentalmente debido al volumen generado y a su gestión: en un sistema productivo intensivo, la descarga es puntual y requiere un manejo que involucra un posterior proceso de estabilización de los efluentes generados.

Generalmente, en los casos en que las excretas de los criaderos porcinos son tratadas, lo son de un modo poco eficiente, mediante sistemas de lagunas, que en muchos casos consisten simplemente en un almacenamiento previo a su aplicación en los suelos, práctica que utiliza los nutrientes de los efluentes sin estabilizarlos, sin control de su aplicación y sin que los cultivos puedan aprovecharlos totalmente.

Para elaborar un proyecto de energía a partir de efluentes se debe conocer, en primer lugar, qué cantidad de purines genera una granja porcina. Existe una amplia variedad de información al respecto, en especial debido a los diferentes manejos de las aguas de lavado y a la variabilidad del alimento que se suministra a los animales. En el presente estudio

se considera un valor estándar de la producción media diaria de estiércol, de estiércol más orina y de efluentes líquidos por categoría de animal. El Cuadro 1 presenta valores de generación de efluentes, desde la gestación hasta la terminación de los animales.

Los efluentes líquidos de los criaderos de cerdos contienen una serie de nutrientes y componentes útiles para otras aplicaciones, pero que requieren un manejo adecuado, sin el cual pueden ser negativos en caso de volcarse sin control sobre fuentes de agua superficiales o subterráneas, o sobre el suelo.

Los componentes de los efluentes son nitrógeno (N), el elemento más importante, debido a que el alimento suministrado a los cerdos tiene altos contenidos de proteína; fósforo (P); patógenos, esto es, poblaciones microbiológicas, bacterias y virus; residuos de drogas de uso veterinario; materia orgánica y demanda biológica de oxígeno (DBO), que disminuye rápidamente a medida que los materiales orgánicos son degradados por descomposición aeróbica, pero más lentamente si la descomposición es anaeróbica; sólidos suspendidos (SS); sodio (Na) y otras sales. El Cuadro 2 muestra valores medios de componentes de los purines.

Legislación vigente

Para el análisis de los proyectos se han considerado dos tipos de legislación. La primera, referida a la normativa ambiental, que regula el manejo y disposición de efluentes y residuos en general; la segunda, referida a la revalorización de recursos o residuos mediante su utilización como fuente de energía y/o enmiendas o fertilizantes orgánicos. Se detallan en el Anexo II.

El examen de los aspectos ambientales es de suma importancia en proyectos basados en la utilización de residuos, ya que la gestión habitual de estos es modificada. Cualquier cambio que genere una alteración en la calidad de los efluentes de vuelco o de los sólidos que se dispondrán puede tener un impacto negativo sobre el ambiente o incumplir la normativa vigente.

Cuadro 1. Generación media diaria de efluentes en granjas porcinas

Categoría de cerdos	Estiércol (kg)	Estiércol+Orina (kg)	Efluentes líquidos
Cerdas en gestación	3,60	11,00	16,00
Cerdas en lactancia	6,40	18,00	27,00
Lechones destetados	0,35	0,95	1,40
25-100 kg	2,30	4,90	7,00
Machos	3,00	6,00	9,00

Materia seca entre 1,6 y 3%

Fuente: Millares (2015).

En cuanto a la legislación existente en materia de protección ambiental, se hace hincapié específicamente en las normas de orden nacional y las vigentes en las provincias de Buenos Aires y Córdoba, donde se ubican las empresas de este estudio. En algunos casos, por no contar con legislación específica, se han adoptado por convención otras normas como referencia.

Cuadro 2. Características de los efluentes de producciones intensivas de cerdos

Parámetro	Valor
Sólidos totales	2,24%
DQO	24 297,92 ppm
DBO	14 099,5 ppm
PT	540,6 ppm
NTK	0,15%
NNH ₃	0,14%
K ⁺	1 387,1 ppm
Na ⁺	1 048,0 ppm

Fuente: Beily, Franco y Crespo (2011).

3. DESCRIPCIÓN DE LAS EMPRESAS ANALIZADAS

En las plantas analizadas se lleva adelante todo el ciclo de cría y engorde de los cerdos hasta que son enviados a faena, en galpones separados para las distintas etapas (padrillera, laboratorio, gestación, maternidad, recría, engorde).

Empresa A: El establecimiento se encuentra en la provincia de Córdoba, en un predio que abarca casi 60 hectáreas, en parte destinado a la agricultura y con un sector para la cría de cerdos. Tiene capacidad para albergar 250 madres en galpones de hormigón y estructuras metálicas, con pisos ranurados y fosas de acumulación de heces y orina.

Empresa B: El establecimiento, uno de los mayores del país, se ubica en la provincia de Buenos Aires, en una zona agropecuaria fértil que se destaca por su actividad vacuna, aviar y porcina. Tiene dos áreas bien diferenciadas: la que denomina Sitio 1 y 2, donde se ubican 6500 madres, y el Sitio 3, donde se encuentran los galpones de engorde, con capacidad para 40 000 animales.

Empresa C: El establecimiento está ubicado también en la provincia de Buenos Aires, en un área de casi 4 000 m², con capacidad para albergar 300 madres en galpones construidos con paredes de bloques de hormigón, con pisos de plástico en sala de maternidad y recría, y de hormigón ranurado con fosas inundables en las salas de gestación y engorde. El lugar tiene capacidad de ampliación con futuras edificaciones.

Gestión actual de efluentes y residuos orgánicos

Las tres empresas estudiadas realizan actualmente un tratamiento de efluentes simple, basado en la decantación en lagunas y la degradación a través de procesos naturales, cuyo volumen se detalla en el Cuadro 3.

En la Empresa A, una vez realizada la limpieza de cada galpón, el efluente producto de la mezcla de agua de lavado, heces y orina es conducido mediante un sistema de cañerías hacia el sistema de lagunas. Este consiste en cuatro lagunas en paralelo, impermeabilizadas con membrana, donde los efluentes se almacenan para luego utilizar en campo propio.

La Empresa B cuenta con un sistema previo de tratamiento de sus efluentes líquidos, que consiste en una primera etapa de separación de sólidos mediante equipos mecánicos (*decanter* centrífugo), a partir de la que se obtienen semisólidos que se envían a

compostaje, y un efluente con menor contenido de sólidos que se dirige al sistema de lagunas. Los efluentes líquidos se separan en función del lugar donde se generan: el Sitio 1 y 2, donde se encuentran las madres reproductoras y toda la infraestructura necesaria para el nacimiento de las crías y su cuidado hasta el momento del destete, y el Sitio 3, donde se ubican los dos galpones de engorde que reciben a los cerdos luego del destete hasta que se envían a faena. Ambos sitios tienen un sistema de tratamiento que sigue la secuencia típica de tres lagunas interconectadas: almacenamiento, estabilización y tratamiento.

En la Empresa C, el producto de la limpieza de cada galpón se vacía periódicamente mediante un sistema de desagüe a un pozo de bombeo, desde donde es impulsado hacia la primera de las tres lagunas consecutivas, impermeabilizadas con membrana. Posteriormente se realiza el vuelco de estas lagunas en campo, aprovechando los nutrientes del efluente.

Ninguno de los establecimientos tiene sistema de mezcla, ni aireación, ni hay un control de los parámetros. El alto tiempo de retención hidráulica (TRH), es decir, el tiempo en que el sustrato permanece en el digestor hasta que los efluentes se utilizan, produce una sedimentación de parte de los sólidos contenidos, mientras que otra parte queda flotando, formando una fina capa en la superficie.

En las lagunas se producen degradaciones naturales, aeróbicas y principalmente anaeróbicas, que descomponen parte de la carga orgánica inicial proveniente de los galpones aunque de manera deficiente. El alto tiempo de retención hidráulica (TRH), es decir, el tiempo en que el sustrato permanece en el digestor hasta que los efluentes se utilizan, genera una sedimentación de parte de los sólidos contenidos, mientras que otra parte queda flotando, formando una fina capa en la superficie.

Además, el alto TRH en una amplia superficie de laguna expuesta permite que haya un alto grado de evaporación.

Ninguno de los establecimientos analizados cuenta con un sistema de mezcla, ni aireación, ni hay un control de los parámetros. El TRH en estas lagunas es muy alto: por ejemplo, en la Empresa B, en la primera laguna del Sitio 1 y 2 supera los 230 días y las tres restantes suman 120 días más, mientras que en la primera laguna del Sitio 3 es de 530 días y las dos restantes suman otros 210 días.

Cuadro 3. Detalle de residuos de los establecimientos

Detalle de sustratos de los establecimientos					
	Empresa A	Empresa B	Empresa C		
			Modelo A	Modelo B	Modelo C
Efluente líquido (m ³ /día)	25	780,8	30	60	120
Eficiencia de separación de sólidos (%)	No posee	-	No posee	70	70

Fuente: Elaborado por el autor.

4. PROYECTOS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA

En los proyectos seleccionados se estudió la generación de energía a través del tratamiento biológico anaeróbico de las excretas producidas por los criaderos porcinos, mediante biodigestores que permitan mantener una tasa de generación de biogás constante, a los efectos de recuperar valor en el proceso.

Los biodigestores propuestos realizan un proceso de mezcla completa, con control de la temperatura, ya sea en un rango mesofílico o termofílico.

Trabajar en el rango mesofílico (35 °C) permite reducir el tiempo en que permanece el volumen de sustratos dentro del digestor (TRH) y poder implementar un proyecto estándar con las características técnicas buscadas para la generación de biogás. Al mantener controladas las condiciones de temperatura y mezcla, se asegura un funcionamiento constante las 24 horas del día y una alta degradación de la carga orgánica. El sistema mesofílico es el que se eligió para la Empresa A y para los modelos A y B de la Empresa C.

Operar en el rango termofílico (45-55 °C) requiere un TRH menor (20 días), lo que permite un tanque de menor tamaño. Además, posibilita una mayor generación de biogás y genera una menor producción de fangos. Y si bien la demanda de calor para entregar al sistema es mayor, este se encuentra disponible ya que es un proyecto de generación de energía eléctrica y puede aprovechar los rendimientos térmicos de los motores y/o turbinas que de otro modo se perderían. El sistema termofílico se eligió para la Empresa B y para los modelos C y D de la Empresa C.

El tamaño del digestor está estrictamente relacionado con la tecnología seleccionada y, por lo tanto, con el TRH. Dimensionar el biodigestor es uno de los puntos críticos del proyecto, ya que tiene un peso importante en su costo y condiciona gran parte de los equipos e instalaciones necesarios para el correcto funcionamiento del proceso.

También algunos temas relacionados con los consumos internos y los costos de operación de la planta pueden ser críticos. Incluirlos en el análisis es fundamental para realizar una evaluación completa, ya que analizar únicamente lo que se genera da una visión sesgada de la situación real.

Todos los sistemas estudiados consideran la existencia previa de un proceso de separación o concentración de sólidos, exista o sea necesario incorporarlo, para que sea posible trabajar con esta tecnología. Los límites de sólidos totales dentro del digestor están

relacionados con su operación, principalmente para mantenerlos en suspensión con los equipos de mezcla utilizados.

Cabe resaltar que los productos que se utilizan para la limpieza de los establecimientos son bactericidas y pueden tener algún impacto inhibitor del proceso de digestión anaeróbica al estar en contacto con los efluentes. Para evitar efectos negativos, debe considerarse cambiarlos por otros que no afecten a las bacterias del biodigestor en caso de ser necesario.

Empresa A

Potencial de generación de biogás

Para estimar el potencial de generación de biogás se recurrió a información estándar de establecimientos con las mismas características, dado que esta empresa no tenía una caracterización de sus efluentes. En este proyecto no se utilizará el 100% del efluente, ya que se busca minimizar la inversión, y para esto se deben concentrar los sólidos a digerir.

Potencial de generación de biogás:

- . Caudal del efluente: 12 m³/día.
- . Materia seca del efluente: 10%.
- . Generación de metano: 450 l/kg de sólidos volátiles removidos.

Características del biogás generado:

- . Producción de biogás: 345,6 m³/día.
- . Producción de metano: 224,6 m³/día.
- . Proporción de metano en el biogás: 65%.
- . Poder calorífico del biogás: 6 045 kcal/m³.
- . Poder calorífico diario del biogás: 2 089 152 kcal.

El uso de cosustratos, sean provenientes de otros establecimientos o de cultivos energéticos, pierde sentido en el caso de este proyecto, pese a que existen en la localidad frigoríficos que elaboran carnes y derivados de bovinos y porcinos y generan residuos de características similares, así como posibilidades de cultivo. En el marco de la Ronda 2 del Programa RenovAr, la potencia para participar de la licitación fue de al menos 500 kilovatios hora (kWh). Si la Empresa A quisiera generar esa energía de forma constante, los sustratos propios constituirían el porcentaje menor, lo que es una gran desventaja para un proyecto de largo plazo como este, ya que implica mantener una relación constante con uno o varios proveedores de cosustratos, y los riesgos de variación de precios de estos o del transporte generan gran incertidumbre. De manera similar, lograr esos 500 kWh utilizando ensilado de maíz requeriría cerca de 26 toneladas diarias de cosustrato, con lo que la generación a partir del purín de cerdo sería inferior al 6% del total.

Tecnología elegida para el proyecto y descripción de instalaciones del digestor

Para minimizar los costos y el volumen se optó por una planta prefabricada, que trabaja con una tecnología de digestión anaeróbica en el rango mesofílico (35 °C). Las dimensiones del biodigestor están estrictamente relacionadas con el TRH, que para este caso es de 30 días, con un volumen final del 360 m³.

A fin de minimizar el volumen del digestor, se plantea una separación de sólidos previa, consistente en un tamiz estático que permite concentrar los sólidos en la corriente

aprovechable en el sistema de digestión anaeróbica, mientras que la otra parte del efluente es enviada al sistema de tratamiento mediante lagunas preexistente.

El sistema contiene un agitador mecánico inclinado que permite una agitación gentil dentro del digestor, y asegura una mezcla completa de todo el volumen y una desgasificación de los sustratos. La frecuencia de agitación puede ajustarse según las necesidades y así disminuir costos operativos por reducción de su consumo energético.

Un gasómetro de membrana de volumen variable encima del digestor almacena el biogás generado a baja presión, desde donde es impulsado por los sopladores para su uso.

Entre las ventajas de esta tecnología se cuentan la fácil operación y mantenimiento del agitador, ya que no requiere entrar al digestor; las óptimas condiciones de mezcla; la prevención de la sedimentación de sólidos y la desgasificación constante de los sustratos dentro del digestor; la larga vida útil de los equipos instalados, y la baja inversión con relación a proyectos hechos a medida.

Potencialidad de uso del biogás

Se presentan dos posibilidades de uso del biogás: en forma directa, como reemplazo del gas natural u otro combustible, y en la generación de energía eléctrica mediante equipos electromecánicos.

Uso directo del biogás

El aprovechamiento del biogás en reemplazo de otros combustibles en caldera tiene una serie de ventajas en términos de rendimiento, simpleza de uso y acondicionamiento, y un menor costo de proyecto.

Al utilizar el gas directamente en una caldera, se aprovecha el 100% de su poder calorífico, y el rendimiento del sistema está dado por la caldera en sí y no por el biogás. Este rendimiento no se analiza en este estudio ya que se considera reemplazar parte del gas natural u otro combustible líquido por el biogás en un quemador dual, por lo tanto, el rendimiento del sistema se mantiene constante, con las instalaciones existentes.

Es preciso un tratamiento del biogás previo a su uso, principalmente porque contiene un alto porcentaje de humedad que disminuye el poder calorífico y produce reacciones indeseadas en las emisiones. Teniendo en cuenta que los requerimientos de tratamiento del biogás para alimentar equipos de generación eléctrica son muy exigentes, estos pueden considerarse acordes a la necesidad del uso directo, simplificación que permite hacer una comparación rápida y asegurar que el estado de las calderas no se verá afectado por el cambio de combustible.

Si el biogás se utiliza únicamente como reemplazo de otros combustibles fósiles, las tecnologías complementarias al tratamiento serán mucho más simples, ya que no se requerirá el montaje de los generadores, ni sistemas de aprovechamiento del calor de estos, ni instalaciones para inyectar energía eléctrica a la red, que tienen un alto costo en la inversión inicial y en la operación y mantenimiento.

Este caso no se consideró como primera alternativa de estudio ya que el establecimiento no tiene gas natural, por lo que sus instalaciones no están basadas en combustibles fósiles sino principalmente en sistemas eléctricos. Adicionalmente, la legislación promueve la generación de energías renovables pero siempre desde el enfoque de generación de energía eléctrica. La Ley 27191 establece que en las obligaciones de contribuir

con los objetivos fijados de porcentaje de energía consumida de fuentes renovables solo se considera el reemplazo de energía eléctrica.

Para este análisis se toma en cuenta solamente el reemplazo de gas natural y no de otros combustibles líquidos, ya que no se tiene un detalle de los consumos del establecimiento. Se establece que el poder calorífico del metano es equivalente al del gas natural.

A continuación, se presentan cálculos y valores genéricos suficientes para un análisis escueto de la alternativa planteada, considerando el requerimiento energético de la planta de generación de biogás. Más adelante se detalla la inversión del proyecto, el análisis financiero, el consumo interno y los costos de operación.

- Producción de biogás: 345,6 m³/día – 10 368,0 m³/mes.
- Producción de metano: 224,6 m³/día – 6 739,2 m³/mes.
- Consumo interno calefacción (promedio): 69,4 m³ biogás/día – 2 083,0 m³ biogás/mes.
- Equivalente a gas natural disponible: 8 285,0 m³/mes.

Como se mencionó, el contenido de metano presente en el biogás es de 65%. Dado que el consumo interno para calefacción es de 2 083 m³ de biogás por mes, se necesitan 1 353,95 m³ de metano mensuales para calefacción. Considerando que el poder calorífico del metano es el mismo que el del gas natural, se puede entonces reemplazar tanto gas natural como metano neto, es decir, la diferencia entre lo producido y lo utilizado para calefacción.

Así:

- Potencialidad de reemplazo de gas natural con biogás: 5 385,4 m³/mes y 64 624,7 m³/año.
- Costo estimado del proyecto de aprovechamiento de biogás como combustible: 268 837 USD.
- Costos operativos estimados del proyecto: 17 482 de USD anuales.

Generación de energía eléctrica

La generación de energía eléctrica a partir de biogás se calculó sobre la base del poder calorífico de distintos equipos de empresas de primera línea. A fin de hacer el estudio lo más amplio posible, se evaluaron dos tecnologías: motores generadores de las empresas GE Jenbacher, Caterpillar –MWM– y Tedom, y microturbinas de la empresa Capstone.

La comparación debió realizarse a partir de los requerimientos de poder calorífico que detallan los equipos, considerando su rendimiento en cada caso. La elección se realizó en función de la eficiencia en la generación de energía eléctrica, que es el objetivo del proyecto, un aspecto en el que los motogeneradores son superiores a las microturbinas. Debido a la cantidad de biogás generado en el proyecto y los costos más accesibles se optó por los equipos de Tedom Group, que además tienen representantes en el país que pueden realizar los servicios de mantenimiento.

Para aprovechar el 100% del biogás, se propone un generador modelo Micro T30, con una potencia máxima de 30 kW eléctricos, que trabaje de forma constante las 24 horas del día.

Modelo de generador seleccionado (Micro T30 – Tedom)

- Necesidad de energía: 79,1 kWh.
- Generación eléctrica: 30 kWh.

- Generación de calor a partir de gases de combustión: 61 kWh.
- Horas de funcionamiento: 24 h/día.
- Equivalencia en biogás (mínimo necesario): 13,9 m³/h.

Este equipo permite generar:

- 30 kWh de energía eléctrica, las 24 horas del día.
- 720,00 kW por día o 257,5 MW por año.
- 1464 kW de energía térmica disponible por día.

El consumo interno del proyecto es de 133,3 kWh por día y se detalla en el siguiente apartado.

Consumo interno del proyecto y costos de operación

El funcionamiento de la planta requiere un consumo de energía térmica, por la tecnología seleccionada, y de energía eléctrica para los equipos electromecánicos instalados. A continuación, se detallan los costos operativos:

Personal: Si bien la demanda para el proyecto es baja, se requiere personal que esté diariamente en la planta. Se consideraron:

- administrativo;
- operativo de laboratorio (con requerimiento de baja carga horaria);
- operativo y operario (fines de semana).

Otros costos generales:

- costos de seguridad y administración (en general los asume la empresa);
- gastos operativos de laboratorio y otros insumos.

Mantenimiento de generadores eléctricos: Se estimó sobre la base de un presupuesto del representante de Tedom Group en la Argentina. A modo de referencia, se consideró:

- Mantenimiento y servicio de motores: 17,00 USD/MWh generado.

Mantenimiento de instalaciones generales: Se definió un porcentaje de la inversión como mantenimiento general. Se tomó la sugerencia del oferente del proyecto considerando valores estándar, incluyendo mantenimiento general de las instalaciones y equipos electromecánicos (sin incluir generadores eléctricos).

Balance térmico invierno/verano

El requerimiento de energía térmica del sistema está dado por las condiciones internas del digestor anaeróbico y las condiciones ambientales a las que está expuesto. Se tomaron en cuenta tres aspectos:

Temperatura dentro del digestor: Llevar los sustratos a la temperatura del sistema (35 °C) implica una demanda energética importante. Mientras se debe elevar la temperatura del sustrato de entrada, el digestato y el biogás al salir tienen una temperatura igual a la del sistema; por lo tanto, se pierde gran cantidad de energía térmica, que tiene un peso relativo importante en el cálculo y que fue considerado en el presente estudio.

Condiciones ambientales externas: El balance térmico y las pérdidas por las condiciones ambientales se realizaron para el mes más frío (julio) y el de temperaturas promedio más altas (enero) en la provincia de Córdoba. Esto permite hacer un análisis en los dos extremos térmicos, mientras que la situación durante los otros meses siempre estará entre ambos.

Aislación térmica del digestor: La aislación térmica y el sistema de calefacción del digestor son un factor crítico para alcanzar las condiciones de climatización buscadas. Para el análisis se atendieron las características de los materiales de construcción de los tanques y sus proporciones según lo informado por proveedores, tanto en espesores como en conductividades térmicas.

A continuación, se detallan los valores más importantes para el estudio térmico:

- Temperatura digestor: 35 °C.
- Temperatura media mes más frío: 9,5 °C.
- Temperatura media mes más cálido: 23,4 °C.
- Temperatura de sustratos: 25 °C.

En el Cuadro 4 se presentan los requerimientos de energía para el mes más frío y el más cálido, así como el equivalente necesario para mantener el sistema con el potencial de energía térmica generada con biogás por combustión directa, y el porcentaje que esa cantidad representa del total del biogás producido. Estas últimas dos columnas pueden tenerse en cuenta si se usa el biogás en reemplazo de gas natural u otro combustible. En el presente proyecto, se prevé usar el calor emitido por los generadores eléctricos para la calefacción del sistema, y se mostrará que esa cantidad de energía térmica está disponible.

La producción de energía térmica aprovechable por estos equipos para generar energía eléctrica supera las necesidades de climatización del sistema, por lo que trabajar en el rango de temperatura seleccionado no es un problema por necesidad energética, siempre que se aproveche el calor de la generación eléctrica. Sin embargo, el remanente de energía térmica es muy bajo y no puede ser aprovechado en otro proceso del establecimiento, ya que no se justifican inversiones adicionales para las instalaciones necesarias desde un punto de vista técnico y económico.

Cuadro 4. Pérdidas térmicas, Empresa A

Período	Pérdidas de energía (kW/día)	Equivalente en consumo de biogás (m ³ /día)	Uso directo de biogás (%)
Mes más frío (julio)	542,9	77,2	22,3
Mes más cálido (enero)	433,3	61,6	17,8

Fuente: Elaborado por el autor.

Consumo energético

Los equipos electromecánicos tienen un consumo energético que, si bien puede no ser muy alto individualmente, suele alcanzar un peso relativo importante en la suma de equipos y horas de funcionamiento.

En este caso también se compara el consumo de la planta con el total de la energía eléctrica producida a partir del biogás aprovechado en los generadores eléctricos. Se incluyen los equipos de recepción y pretratamiento de residuos de entrada: alimentadores a digestores, agitadores en digestores, bomba de calefacción/recirculación, bombas de impulsión para separación sólido-líquido, equipos para desulfuración, soplante, bomba de husillo y centrífugas.

Consumo energético del proyecto:

- Potencia instalada total: 20,3 kW.
- Consumo eléctrico: 133,3 kWh/día – 48 647 kWh/año.

Inversión del proyecto

La inversión necesaria para llevar adelante el proyecto fue elaborada en dos partes: por un lado, la generación de biogás y, por otro lado, el tratamiento del biogás y la generación de energía eléctrica. En ambos casos se trató de proyectos llave en mano.

La planta de generación de biogás incluye obra civil (bases, tanque y otros), equipos electromecánicos, sensores, instalación eléctrica, cañerías, costos de importación y nacionalización de equipos, montaje, ingeniería y puesta en marcha, impuestos y otros ítems. Los costos de operación y mantenimiento de la planta se estimaron como si fuese un proyecto independiente, aunque en parte pudieran ser absorbidos por los recursos actuales del establecimiento.

- Inversión en generación de biogás: 272 700 USD.

En tanto, el acondicionamiento del biogás, la generación de energía eléctrica y el aprovechamiento de energía térmica fue realizado por otra empresa.

- Inversión en acondicionamiento del biogás y generación eléctrica: 150 286 USD.

Análisis financiero

El análisis financiero se realizó sobre diez años de operación del proyecto, con un valor residual de cinco años adicionales, ya que todos los equipos tienen, al menos, ese tiempo de utilidad. Se asume que la empresa utiliza capital propio para la inversión del proyecto, por lo que no contrae deuda con terceros.

Valor de la energía eléctrica generada

Al ser un proyecto de generación de energía eléctrica con capacidad muy por debajo de los 500 kW que establece el Programa RenovAr Ronda 2, no se puede tomar como referencia el precio tope allí previsto para proyectos de biogás. Por otro lado, el proyecto podría únicamente reemplazar el 86% de la energía eléctrica consumida por el establecimiento, por lo tanto, no tiene excedente para entregar a la red.

Como la Ley 27191 obliga a que un porcentaje creciente de la demanda de energía eléctrica de ciertos establecimientos sea abastecido con fuentes renovables, para este estudio se toma como referencia el valor máximo de comercialización de energía entre privados

que postula la ley, de 113 USD/MWh. Así, para la evaluación económico-financiera del proyecto, se asume este valor.

A continuación, se sintetiza la inversión de la Empresa A:

- Capex planta de generación de biogás: 272 700 USD.
- Tratamiento de biogás, generación de energía eléctrica y conexión a la red: 150 286 USD.
- Inversión total del proyecto: 422 986 USD.
- Capital propio de inversores: 422 986 USD.

Al final de este capítulo, en el Cuadro 17, se presenta un resumen del análisis financiero de este y los demás proyectos analizados.

Empresa B

Tecnología elegida para el proyecto y descripción de instalaciones del digestor

El proyecto de esta empresa es la generación de electricidad de forma sostenible con los residuos existentes. Se busca mantener una tasa de generación de biogás constante para recuperar valor en el proceso, y se optó por un sistema termofílico. Trabajó en el diseño la empresa IBS junto a una asociada tecnológicamente, SEBIGAS.

En función de los sustratos posibles de incorporar, se diseñó un sistema de tratamiento del efluente líquido para la generación de biogás que se puede describir como un digestor con alto contenido de sólidos, y un tiempo de retención hidráulica de 20 días.

Dimensiones del digestor

- Volumen: 3340 m³.
- TRH: 20 días.
- Rango de temperatura: termofílica (52-55 °C).
- Sistema de mezcla completa: CSTR (*continuous stirred-tank reactor*).
- Diseño de carga: <7 kg DQO/(m³/día).
- Caudal: 167 m³/día.
- DQO total: 22 779 kg/día.
- Materia Digerible Orgánica (MDO): 17 712 kg/día.
- Relación DQO/MDO: 1,3.
- Nitrógeno total: 720 kg/día.
- Fósforo total: 428 kg/día.

El biogás generado se almacena en un gasómetro a baja presión, impulsado mediante sopladores para poder ser aprovechado por los equipos de generación, o las calderas en el caso de que se use para reemplazar gas natural u otro combustible. El proyecto contempla el tratamiento del biogás para disminuir su contenido de sulfuro de hidrógeno (H₂S) y humedad, fundamental para no dañar los equipos de generación de energía eléctrica ni las calderas.

Esta tecnología es flexible, capaz de gestionar eficazmente todos los tipos de biomasa disponibles y combinaciones de ellos. Requiere un mantenimiento simple y optimizado a fin de evitar paros de la planta e interferencias en el proceso de generación de energía de forma constante. Para esto es importante trabajar con equipos y materiales de alta calidad. Uno de los sistemas de mayor impacto e importancia es el de mezcla, debido a su probada efectividad y a los diseños previos con estudios de dinámica de fluidos. El enfoque

de eficiencia y optimización del consumo interno de la planta permite mejorar el tiempo de funcionamiento de las bombas y mezcladores mediante sistemas de control externos.

Recepción y preparación de los sustratos a tratar y alimentación al digestor

El sustrato principal del proyecto es el efluente. Del volumen total generado en el Sitio 1 y 2, luego de pasar por equipos de separación de sólidos (*decanter* centrífugo), se utilizan por día solo 60 m³ de fracción líquida y 252 kg de masa semisólida. En los equipos de concentración de sólidos que se encuentran en el Sitio 3 podría retirarse una mayor cantidad de estos, pero supondría costos operativos mucho más elevados por el agregado de químicos requerido. Los otros cosustratos considerados deben acondicionarse de forma independiente. Una pequeña cantidad de sólidos proveniente de los restos alimenticios y barrido de pisos donde estos se almacenan se preparará mediante un proceso de rotura para mejorar su degradación dentro del digestor. Los cosustratos previstos, básicamente grasa y glicerina, tendrán el mismo lugar de recepción y preparación, ya que su condición es parecida.

En el Cuadro 5 se presenta el balance de los sustratos y cosustratos de la empresa.

En el Cuadro 6 puede observarse cuáles son los cosustratos que se han analizado y su rendimiento como generadores de biogás y metano.

Digestión anaeróbica

La tecnología empleada se conoce como CSTR, cuyos flujos pueden sintetizarse del siguiente modo: los sustratos orgánicos se cargan por medio de un pretanque o cargador, dependiendo del tipo de biomasa, en los digestores primarios; estos se alimentan con el material fresco y están constituidos por una losa de hormigón para optimizar la mezcla en su interior; la digestión anaeróbica continúa en el digestor secundario, un tanque con gasómetro para garantizar un volumen de almacenamiento del biogás producido; el biogás se puede utilizar para producir electricidad y calor a través de la unidad de cogeneración o puede ser purificado para usarlo de modo directo en establecimiento como reemplazo de otros combustibles fósiles; el digestato es extraído mediante una bomba de husillo excéntrico y enviado a un separador de sólidos, de los que una parte se reingresará al sistema para aumentar el rendimiento global de la planta y otra parte se podrá utilizar en el sistema de compostaje o como bioabono (Cuadro 7).

Limpieza y adecuación del biogás generado

Desde el digestor, el biogás es enfriado para luego, en un sistema de tratamiento biológico de 32 m³, ser purificado (con la eliminación de contaminantes de azufre), secado e impulsado mediante un soplante al generador eléctrico.

Potencialidad de uso del biogás

Uso directo

Respecto del uso directo del biogás, valen las consideraciones realizadas en el caso de la Empresa A. En el caso de la Empresa B, sus características son:

- Producción de biogás: 11 134 Nm³/día.
- Producción de metano: 6 124 Nm³/día.
- Porcentaje de metano en el biogás: 55%.

Generación de energía eléctrica

El cálculo de generación de energía eléctrica a partir de biogás se realizó en base a su poder calorífico, comparando lo que detallan los proveedores de dos tecnologías.

La primera alternativa es un motor de 1131 kWe marca GE Jenbacher Modelo JMC 416 GS-BL v.A25, que puede suministrar 1017 kW eléctricos y 1068 kW térmicos por hora. La energía eléctrica será volcada a la red de EDEN para su comercialización. El calor recuperado se utilizará fundamentalmente para calentar los digestores anaeróbicos, y el saldo podría destinarse al secado de fracción sólida u otros usos en planta, que no fueron considerados

Cuadro 5. Sustratos y cosustratos, Empresa B

Detalle	Efluente líquido		Cosustratos
	Sitios 1 y 2	Sitio 3	Glicerina y/o grasa
Caudal total generado (m ³ /día)	342	439	-
Caudal para el proyecto (m ³ /día)	60	92	15
Masa (kg/día)	252	13800	9000
Masa orgánica (kg/día)	156	8556	9000
DQO total (kg/día)	215	11765	10800
DQO/MOD	1,4	1,4	1,2
Nitrógeno total (kg/día)	30	30	-
Fósforo (kg/día)	60	60	-

Fuente: Elaborado por el autor.

Cuadro 6. Potencial de generación de biogás de sustratos

Sustrato	Glicerol	Grasa y aceite vegetal	Maíz (ensilado)
Producción de biogás (m ³ /t SV)	850	1000	560
Calidad del biogás (% CH ₄)	50	68	52
Sólidos Totales – ST (%)	100	95	35
Sólidos Volátiles – SV (% ST)	95	100	94
Sólidos Volátiles digeribles (% SV)	95	95	73

Los datos de ST, SV y SV digeribles, generación y calidad del biogás son los utilizados por estudios del INTA y del INTI, provistos por especialistas de la CIM-GTZ, como Steffen Gruber y Stefan Budzinski.

Fuente: Elaborado por el autor.

Cuadro 7. Condiciones del digestato, Empresa B

Detalle	Digestato	Fracción líquida a lagunas	Barros a compost
Caudal para el proyecto (t/día)	160	146	47
Masa (kg/día)	9973	2923	7050
DQO total (kg/día)	5284	2923	2361
DQO/MOD (kg/día)	1.1	508	212
Nitrógeno total (kg/día)	720	379	49
Fósforo (kg/día)	428	146	47

Fuente: Elaborado por el autor.

en el proyecto. Una línea suministrará el biogás a una presión de 150 mbar, mediante un soplante, al motor generador.

En caso de que la producción supere la aprovechada en el sistema, o que los equipos de generación no se encuentren en funcionamiento, el biogás podría ser almacenado en el gasómetro del digestor o quemarse en una antorcha específica, necesaria como parte del sistema de seguridad, y que evita que lleguen al ambiente gases de efecto invernadero (GEI), como el metano.

La segunda alternativa evaluada es la utilización de turbinas. Se eligió la microturbina Modelo C1000 de la empresa Capstone, incluidos un CLC (*Capstone Logic Control*); un cable de interconexión *Multipack*, y un HRM (*Heat Recovery Module*).

Este equipo aventaja a los motores convencionales en que sus emisiones son muy bajas: al emitir a plena potencia, roza un máximo de 9 ppm de NOx como máximo. Y puede quemar gases ácidos (con hasta 7% de H₂S) debido a que está construido con metales nobles, lo que evita tener que tratarlos.

Ambas alternativas han sido tenidas en cuenta al realizar la factibilidad de este proyecto, pero en el estudio financiero se han incluido los costos Capex y Opex del equipo GE Jenbacher. Ello se debe a que se trata de un proyecto cuya base de repago es el rendimiento eléctrico y las mejoras ambientales (en lo que el equipo Capstone tiene mejor performance). El rendimiento de generación eléctrica para los motores GE se encuentra en 42,4%, y para los equipos Capstone, en 33%. Si bien el costo de uso de las microturbinas en el lapso de análisis del proyecto sería menor considerando las variables de mantenimiento y servicio, se eligió el motor GE dado que el menor costo Capex compensa el costo operativo mayor en el tiempo. Por otra parte, los factores ambientales son disminuidos en este proyecto mediante el desulfurizado completo del biogás generado.

Especificaciones técnicas equipo Jenbacher Type 4 J416:

- Generación eléctrica: 1 189 kWh.
- Requerimiento energético: 2 806 kW.

- Emisión de NOx: 500.
- Eficiencia térmica: 42,8%.
- Eficiencia eléctrica: 42,4%.
- Eficiencia total: 85,2%.

Especificaciones técnicas equipo turbina Capstone 1 MWh:

- Generación eléctrica: 1000 kW.
- Eficiencia eléctrica: 33%.
- Eficiencia total: hasta 90%.
- Voltaje: 400-480 VAC – Frecuencia: 50/60 Hz – Conexión a la red 10-60 Hz.
- Dimensiones: Ancho: 3,0 m – Profundidad: 9,1 m – Alto: 2,9 m.
- Peso: Conexión a la red: 17 000 kg – En modo dual: 20 500 kg.
- Temperatura de emisiones: 280 °C – Flujo de emisiones gaseosas: 6,7 kg/s.
- Rango de calor neto (LHV): 10,9 MJ/kWh (10 300 BTU/kWh).
- Condiciones nominales para funcionamiento a máxima performance: ISO: 59 °F, 14 696 psia, 60% RH.

Conexión a la red

La conexión a la red eléctrica se estudió luego de la visita al sitio junto a personal de EDEN SA, que, luego de identificar alternativas a un máximo de 300 metros, realizó un costeo basado en dos alternativas de provisión, que se utilizaron en el análisis de inversión. Se seleccionó la que resultó más segura para la entrega de energía eléctrica durante el mayor período de tiempo, con un costo mayor.

Consumo interno del proyecto y costos de operación

El costo de mantenimiento general de las instalaciones lo definió la empresa que realizó la propuesta del proyecto como un porcentaje del total, sobre un valor estándar que emplea. El mantenimiento de los generadores eléctricos se detalla como un costo adicional, de acuerdo con los requisitos del proveedor para sostener la garantía de los equipos, y se mantuvo ese valor constante para todo el análisis del proyecto, más allá de la garantía.

Los costos operativos vinculados a la administración del proyecto y al personal se estimaron de manera independiente, sin considerar el aprovechamiento de parte del personal actual de la empresa.

A continuación, se presentan los ítems que componen los costos operativos considerados en el proyecto.

Personal: La dedicación y necesidad de los empleados puede variar, pero se estimaron:

- gerente de planta;
- administrativo;
- operativo de laboratorio;
- operativo general;
- operativo fines de semana.

Otros costos generales:

- seguridad;
- administración general;

- costos operativos de la planta (insumos de laboratorio y otros);
- seguros y otros gastos.

Costos de gestión de cosustratos: Se estimaron en función de:

- cantidad de cosustratos necesarios para la generación de biogás requerida;
- precio;
- distancia promedio de cosustratos a planta;
- cantidad y costo del servicio de camiones necesarios para el transporte.

Balance térmico invierno/verano

Los valores más importantes para el estudio térmico de este proyecto son:

- Temperatura digestor: 52 °C.
- Temperatura media mes más frío: 11,4 °C.
- Temperatura media mes más cálido: 25,1 °C.
- Temperatura de sustratos: 25 °C.

En el Cuadro 8 se presentan los requerimientos de energía para el mes más frío y el más cálido en la provincia de Buenos Aires, así como el equivalente necesario para mantener el sistema con el potencial de energía generada con biogás por combustión directa y el porcentaje que representa del total.

Consumo energético

El costo de operación derivado del consumo energético está considerado dentro de “Costos personal + administración + costo energético operación”. Se consideran los equipos de recepción y pretratamiento de residuos de entrada: acondicionamiento, bombeo y mezcla de cosustratos; alimentadores a digestores; agitadores de digestores; bomba de calefacción/recirculación; bombas de impulsión a separación sólido líquido; equipos para desulfuración y deshumidificación; soplante; bomba de husillo; centrífugas.

Inversión del proyecto

La inversión para llevar adelante el proyecto, centralizado en una empresa, está dada por la planta de generación de biogás, la generación de energía eléctrica y la conexión a la red de EDEN.

En el modelo de negocio se establece que, por la alta inversión inicial del proyecto, se debe tomar un préstamo por el 70% del valor total, debido a lo cual todos los cálculos se realizan bajo esta premisa.

Cuadro 8. Pérdidas térmicas, Empresa B

Período	Pérdidas de energía (kW/día)	Equivalente en consumo de biogás (m ³ /día)	Proporción del biogás generado (%)
Mes más frío (julio)	8474	1424	12,8
Mes más cálido (enero)	7373	1239	11,1

Fuente: Elaborado por el autor.

La planta de generación de biogás y la inyección a la red de EDEN son un proyecto llave en mano que incluye la obra civil (bases, tanque y otros); equipos electromecánicos; sensores; instalación eléctrica; cañerías; costo de importación y nacionalización de equipos; tendido eléctrico, transformadores y conexión a red; montaje; ingeniería y puesta en marcha; impuestos y otros.

Inversión en Empresa B

Capex

- Planta de biogás completa con generación: 3 913 800 USD.
- Inversión para conectar a red EDEN SA: 222 857 USD.
- Inversión total proyecto: 4 136 657 USD.
- Capital propio inversores: 1 240 997 USD.

Análisis financiero

El análisis financiero se realizó sobre 20 años de operación del proyecto, de acuerdo con lo solicitado por la empresa.

Se asume un aporte de 30% de capital propio para la inversión del proyecto y por el resto se contrae deuda con un tercero a una tasa de interés de 7%.

Valor de la energía eléctrica generada

Al ser un proyecto de generación de energía eléctrica mayor a 500 kWh, se encuentra dentro del rango que podía aplicar a la convocatoria del Programa RenovAr Ronda 2 para la licitación de contratos de abastecimiento en el Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) de energía eléctrica generada a partir de fuentes renovables. Para este análisis se consideran los valores máximos de dicha licitación, asumiendo esto como la mejor situación posible. La Ronda 2 generó un incentivo por escala para proyectos de biomasa y biogás (IncentBG) cuya potencia adjudicada fuera de entre 0,5 y 1,5 MW. Así, para el análisis financiero del proyecto se toma como valor de comercialización de la energía eléctrica generada 175 USD/MWh entregado.

A continuación, se detallan algunas cifras del análisis financiero:

- Inversión total proyecto: 4 136 657 USD.
- Capital propio inversores: 1 240 997 USD.
- Préstamos: 70%.
- Tasa de interés: 7%.
- Años de repago: 10.
- Pago anual: -412 277 USD.
- Pago semestral: -206 138 USD.
- Monto de intereses anual: -122 711 USD.
- Tasa libre de riesgo: 2%.
- Tasa de mercado: 14%.
- Otros fees: 1%.
- Impuesto a las Ganancias: 35%.

Al final de este capítulo, en el Cuadro 17, se presenta un resumen con los datos básicos del análisis financiero de este proyecto y los de las demás empresas analizadas en este

documento. Para la Empresa B se agrega un análisis de sensibilidad al precio de la energía generada y un análisis de sensibilidad al costo de los cosustratos.

Empresa C

Potencial de generación de biogás

La estimación del potencial de generación de biogás se basó en información estándar de establecimientos similares, ya que no se contaba con una caracterización de los efluentes. Parte del estudio se hizo en función del crecimiento proyectado por la empresa (Cuadro 9). Para minimizar la inversión, no se utilizará el 100% del efluente.

Dado que el potencial de generación de biogás del establecimiento sobre la base del purín de cerdos es bajo, se analiza un proyecto que incluye ensilado de maíz como cosustrato, por su disponibilidad en la zona. Las características son las siguientes:

- Caudal del efluente: 75 m³/día.
- Materia seca: 7,5%.
- Caudal del ensilado de maíz: 22,8 m³/ día.
- Total: 96,8 m³/día.
- Sólidos totales: 14%.

Se prevé la elaboración propia del ensilado de maíz necesario para alcanzar una generación de energía eléctrica de 500 kWh continua, durante las 24 horas del día. Al incluir este cosustrato no se produce un desbalance de nutrientes que afecte negativamente el proceso biológico del digester anaeróbico, pero no hay que descuidar el balance de masa y el contenido de sólidos, ya que esto sí puede afectar el funcionamiento del sistema. El Cuadro 10 presenta un detalle de las características del biogás de cada uno de los modelos analizados.

Los costos de producción propia del ensilado de maíz se estimaron sobre la base de información de fuentes especializadas. Algunos de ellos se presentan en el Cuadro 11.

A estos costos se debe añadir el del transporte del ensilado del maíz adicional a los 1000 metros incluidos en el servicio de picado. Como referencias, al momento de realizar este estudio, con un precio del gasoil de 17,52 ARS por litro, trasladar 25 toneladas 1 kilómetro costaba 438,00 ARS, y 65 toneladas 6 kilómetros, 6 832,80 ARS, de acuerdo con la Cámara Argentina de Contratistas Forrajeros.

Tecnología elegida para el proyecto y descripción de instalaciones del digester

Los modelos sobre los que se trabaja en este estudio plantean distintas dificultades, por lo que requieren distintas tecnologías.

Modelo A

Presenta una situación de bajo caudal y bajo potencial de generación de biogás, por lo que el costo del proyecto pasa a ser un factor de gran impacto. Se selecciona una tecnología del rango mesofílico en digestores estándar o prefabricados, a fin de evitar costos de ingeniería y de diseño, y simplificar la instalación y puesta en marcha, que se ajusta muy bien a las necesidades del establecimiento y al tipo de sustratos.

Sistema de agitación, mezcla y calefacción

Al igual que en la Empresa A, este sistema contiene un agitador mecánico inclinado dentro del digester, cuya frecuencia puede ajustarse, y un gasómetro de membrana de volumen variable, cuyas ventajas son las mismas que las mencionadas al describir aquel proyecto.

Cuadro 9. Potencial de generación de biogás, Empresa C, Modelos A, B y C

Potencial de generación de biogás	Modelo A	Modelo B	Modelo C
Caudal efluente (m ³ /día)	12	33	50
Materia seca del efluente (%)	10	8	11
Generación de metano (l/kg de SV removido)	450		

Fuente: Elaborado por el autor.

Cuadro 10. Características del biogás generado, Empresa C

Biogás generado	Modelo A	Modelo B	Modelo C	Modelo D
Biogás generado (m ³ /día)	345,6	760,3	1451,5	4 686,5
Producción de metano (CH ₄) (m ³ /día)	224,6	494,2	943,5	2 647,6
Proporción de metano en el biogás (%)	65	65	65	56,5
Poder calorífico del biogás (kcal/m ³)	6 045	6 045	6 045	5 254
Poder calorífico del biogás (kcal/día)	2 089 152	4 596 134	8 774 438	24 622 448

Fuente: Elaborado por el autor.

Cuadro 11. Costo de producción y ensilado de maíz

Maíz		
Confección de silo	Aéreo (ARS)	Embolsado (ARS)
Precio básico	4 817	4 817
Precio por tonelada (t)	159	190
Precio por hectárea (ha)	10,382	11 467
Costo de maíz 35% MS (rinde estimado 35 t) (ARS/ha)		
Semilla	2 207	
Labranza + Fumigaciones	1 051	
Agroquímicos + Fertilizantes	2 557	
Alquiler de la tierra	3 112	
Costo total del cultivo	8 927	
Costo de ensilaje/t MV	297	328
Costo de ensilaje/t MS	848	936
Costo total del silo/t MV	552	583
Costo total del silo/t MS	1 576	1 665

Fuente: Cámara Argentina de Contratistas Forrajeros (2017).

Modelos B, C y D

Tanto el Modelo B como el Modelo C prevén usar únicamente residuos de la producción de cerdos del establecimiento. En ambos, los digestores y equipamientos se dimensionaron a medida, con la diferencia principal de la temperatura de funcionamiento: el digestor del Modelo B trabaja en el rango mesofílico, con un TRH de 30 días, mientras que el Modelo C utiliza tecnología termofílica, con TRH de 20 días y mayor concentración de sólidos.

Respecto de las instalaciones, la diferencia entre ambos proyectos es baja. Esto permite comenzar a trabajar en el rango de temperatura del Modelo B en la situación que en breve alcanzará el establecimiento y, a medida que aumente la producción de cerdos, modificar el funcionamiento del digestor hasta alcanzar condiciones termofílicas y obtener los resultados planteados en el Modelo C.

En el Modelo C se genera una mayor cantidad de sólidos que puede concentrarse más con una inversión adicional baja, y esta es la razón principal por la que aumenta la producción de biogás. Hasta alcanzar la máxima producción de este modelo con el total de los residuos generados por el establecimiento podrían plantearse varios proyectos intermedios, variando la concentración de sólidos o incluyendo cosustratos en distintas cantidades. Considerar todas las variables no es posible en un estudio estático como el presente, por lo que se presentan sólo situaciones hipotéticas de los modelos B y C.

El Modelo D trabaja con los mismos principios tecnológicos que el Modelo C –una digestión anaeróbica en el rango termofílico–, pero incluye la adición de cosustratos suficientes para que la producción de biogás permita generar 500 KWh de energía eléctrica.

Sistema de agitación, mezcla y calefacción

El sistema de agitación se denomina DIGESTMIX. Es externo y recircula el contenido desde el fondo del digestor hasta la parte superior, manteniendo los sólidos en suspensión constante. Adicionalmente, el equipo es utilizado para el calentamiento del sistema, ya que tiene un intercambiador de calor y permite mantener en todo momento las temperaturas de diseño. Estas pueden modificarse y trabajar en distintos rangos con las mismas instalaciones.

Respecto de los sistemas de agitación convencional, este presenta las ventajas de que su consumo energético es mucho menor; no existen elementos mecánicos dentro del digestor; se elimina la formación de capas flotantes y espumas en su interior, y los intercambiadores de calor integrados en el sistema no requieren mantenimiento ni limpieza.

El sistema de recogida y acumulación de biogás en el biodigestor consiste en una cubierta textil de doble membrana. El espacio entre la superficie del líquido dentro del digestor y la cubierta actúa como gasómetro temporal, desde donde es impulsado a la batea de tratamiento y generación de energía eléctrica.

Dimensiones del digestor

Las distintas escalas del digestor en cada modelo se presentan en el Cuadro 12.

Potencialidad de uso del biogás

Generación de energía eléctrica

El cálculo de generación de energía eléctrica a partir de biogás se realizó sobre la base del poder calorífico de este, según hojas técnicas y especificaciones de equipos de empresas de primera línea. Se consideraron distintas tecnologías: motores generadores de

Cuadro 12. Dimensiones del digestor, Empresa C

Digestor	Modelo A	Modelo B	Modelo C	Modelo D
TRH (días)	30	30	20	20
Volumen final (m ³)	360	1000	1000	2115

Fuente: Elaborado por el autor.

las empresas GE Jenbacher, Caterpillar –MWM– y Tedom; y microturbinas de la empresa Capstone.

Debido a la cantidad de biogás generado en el proyecto, los rendimientos de cada tecnología, los costos más accesibles y la existencia de representantes en el país para realizar el mantenimiento, se optó por los equipos de Tedom Group (Micro T30, Cento T80, Cento T160 y Cento L500).

Para aprovechar el 100% del biogás, se proponen distintas unidades en función del modelo de proyecto. Al elegir el equipo de generación eléctrica se busca que funcione de forma estable y constante la mayor cantidad de tiempo posible, idealmente, las 24 horas del día (Cuadro 13).

Consumo interno del proyecto y costos de operación

La planta tiene un consumo energético para su funcionamiento, tanto en requerimiento de energía térmica por la tecnología seleccionada como de energía eléctrica para los equipos electromecánicos instalados.

Balance térmico invierno/verano

El balance térmico y las pérdidas por las condiciones ambientales se realizaron para el mes más frío (julio) y el más cálido (enero) en la provincia de Buenos Aires. Para el análisis se consideraron las características de los materiales de construcción de los tanques y sus proporciones, según lo informado por proveedores, tanto en espesores como en conductividades térmicas.

A continuación, se detallan los valores más importantes para el estudio térmico.

- Temperatura digestor: 35 °C (mesofílico) – 52 °C (termofílico).
- Temperatura media mes más frío: 11,4 °C.
- Temperatura media mes más cálido: 25,1 °C.
- Temperatura de sustratos: 25 °C.

En el Cuadro 14 se muestran los requerimientos de energía para el mes más frío y el más cálido, además del equivalente para mantener el sistema con el potencial de energía térmica generada con biogás, y el porcentaje del total generado que representa esa cantidad, ítems que pueden tenerse en cuenta si se utiliza el biogás en reemplazo de gas natural u otro combustible. En este proyecto se utilizará el calor emitido por los generadores eléctricos para la calefacción del sistema.

La generación de energía térmica aprovechable por los equipos de generación de energía eléctrica supera las necesidades de climatización del sistema. Este excedente no tiene

un uso definido, ya que utilizarlo en la planta implicaría inversiones en instalaciones y desarrollos adicionales no evaluados en el presente estudio.

Consumo energético

En este caso también se compara el consumo de la planta con el total de la energía eléctrica generada a partir del biogás (Cuadro 15). Se incluyen los equipos de recepción y pretratamiento de residuos de entrada: alimentadores a digestores; agitadores de digestores; bomba de calefacción/recirculación; bombas de impulsión a separación sólido-líquido; equipos para desulfuración; soplante; bomba de husillo; centrífugas.

Cuadro 13. Características de los equipos y generación de energía, Empresa C

Generadores eléctricos	Modelo A	Modelo B	Modelo C	Modelo D
Modelo	Micro T30	Cento T80	Cento T160	Cento L500
Necesidad de energía (kWh)	79,1	237	439	1193
Generación eléctrica (kWh)	30	83	166	500
Generación de calor a partir de gases de combustión (kWh)	61	121	217	556
Horas de funcionamiento (h/día)	24	22,5	23,2	24
Equivalencia en biogás (mínimo necesario) (m ³ /h)	13,9	33,7	62,44	195,2
Generación de energía (MW/año)	257,5	681,6	1398,7	4292,4
Energía térmica disponible (kW/día)	1464	2722	5034	13344

Fuente: Elaborado por el autor.

Cuadro 14. Pérdidas térmicas, Empresa C

Pérdidas diarias de energía calórica	Modelo A	Modelo B	Modelo C	Modelo D
Pérdidas de energía mes más frío (kW/día)	542,9	1483,2	1718	4813,8
Equivalente en consumo de biogás mes más frío (m ³ /día)	77,2	211,0	244,4	787,8
Pérdidas de energía mes más cálido (kW/día)	433,3	1185,9	1502,6	4178,5
Equivalente en consumo de biogás mes más cálido (m ³ /día)	61,6	168,7	213,7	683,8

Fuente: Elaborado por el autor.

Inversión del proyecto

La inversión necesaria para llevar adelante el proyecto fue elaborada en dos partes: el proyecto de generación de biogás, y el tratamiento y generación de energía eléctrica.

La planta de generación de biogás es un proyecto llave en mano que incluye obra civil (bases, tanque y otros); equipos electromecánicos; sensores; instalación eléctrica; cañerías; costo de importación y nacionalización de equipos; montaje; ingeniería y puesta en marcha; impuestos, y otros.

En la propuesta económica, la empresa estableció los costos de operación y mantenimiento de la planta en función de los requerimientos del proyecto concebido como independiente. Las cifras de inversión de cada modelo se presentan en el Cuadro 16.

Análisis financiero

El análisis financiero se realiza sobre 10 años de operación del proyecto, pero con un valor residual de 5 años adicionales, en función de la utilidad de los equipos. Se asume que la empresa utiliza capital propio para la inversión, sin recurrir a deuda con terceros.

Valor de la energía eléctrica generada

Modelos A, B y C

Al tratarse de un proyecto de generación eléctrica muy por debajo de los 500 kWh establecidos en la licitación del Programa RenovAr Ronda 2, no se puede tomar como referencia el precio de este.

En función de la Ley 27191, para la evaluación económica del proyecto se define el costo de la energía generada con un valor de 113 USD/MWh.

Cuadro 15. Consumo energético, Empresa C

Consumo energético	Modelo A	Modelo B	Modelo C	Modelo D
Potencia instalada total (kW)	20,3	22,2	30,1	60,5
Consumo eléctrico diario (kWh)	133,3	215,0	281,4	730,6
Consumo eléctrico anual (kWh)	48 636,0	78 723,0	102 725,0	266 654,0

Fuente: Elaborado por el autor.

Cuadro 16. Inversión en cada modelo de Empresa C

Capex	Modelo A	Modelo B	Modelo C	Modelo D
Planta de generación de biogás completa (USD)	268 840	392 512	402 306	785 829
Tratamiento de biogás, generación eléctrica e inyección a la red (USD)	154 500	221 929	307 141	560 910
Inversión total del proyecto (USD)	423 340	614 442	709 448	1 346 740
Capital propio de inversores (%)	100	100	100	100

Fuente: Elaborado por el autor.

Modelo D

En este modelo de proyecto, el valor considerado para la energía eléctrica es distinto ya que, al alcanzar los 500 kWh de generación, podría haber participado en la licitación de RenovAr Ronda 2. Para el análisis se toman el precio máximo de dicha licitación, como la mejor situación posible.

Tal valor está compuesto por distintas variables, entre las que se cuentan el Incentivo por Escala Biomasa (IncentBG) y dos factores de ajuste adicionales, el factor de ajuste anual y el factor de incentivo de la licitación RenovAr. Este último se considera con la implementación del proyecto en 2018.

A continuación, se detallan los montos de inversión total para cada modelo de proyecto de la Empresa C.

- Modelo A: 423 340 USD.
- Modelo B: 614 442 USD.
- Modelo C: 709 448 USD.
- Modelo D: 1 346 740 USD.

Comparación los proyectos

En el Cuadro 17 se comparan las principales variables de los proyectos de energía analizados en este documento.

Análisis de sensibilidad

Empresa B

Para la Empresa B se realizó un análisis de sensibilidad vinculado al precio de la energía generada y otro relacionado con el valor de los cosustratos.

En el primer caso, se analizaron una serie de variaciones del precio de la energía eléctrica y su impacto sobre la tasa interna de retorno (TIR) y el valor actual neto (VAN) del proyecto (Cuadro 18).

En el segundo análisis de sensibilidad, se consideró el costo de adquisición de los cosustratos, un factor de importancia en el análisis del proyecto. Si bien su precio puede variar en el tiempo por muchos factores, aquí se presenta un análisis estático de la situación, con distintos costos de adquisición de cosustratos (Cuadro 19).

Empresa C

Para los modelos A, B y C de esta empresa se realizó un análisis de sensibilidad vinculado solo al precio de la energía eléctrica generada, ya que otras variables son de poco peso. El Cuadro 20 presenta una serie de estimaciones acerca del impacto sobre la TIR y el VAN del proyecto provocados por variaciones del precio de la energía eléctrica generada.

Para el Modelo D se realizaron análisis de sensibilidad de distintos factores que pueden ser críticos: precio de la energía eléctrica generada, costo de elaboración de cosustratos y distancia de proveedores de cosustratos (compra a terceros).

Es importante remarcar que para este análisis se consideró que el establecimiento produce su propia materia prima para la planta de generación de biogás. Se trata de una situación hipotética ya que actualmente la empresa no dispone de cultivos para este fin, pero puede destinar 66 hectáreas a sembrarlos en una zona apta para hacerlo. Se analiza también la posibilidad de comprar el 100% de los cosustratos a terceros. Entre este caso

Cuadro 17. Resumen comparativo del análisis financiero de las empresas A, B y C

Resumen del análisis financiero de los proyectos	Empresa A	Empresa B	Empresa C			
			Modelo A	Modelo B	Modelo C	Modelo D
Inversión total proyecto	422 986	4 136 657	423 340	614 442	709 448	1 346 740
Precio de los productos del proyecto						
Ingresos por bioabono (USD)	0	0	0	0	0	0
Tarifa eléctrica (USD/MW)	113	175	113	113	113	190
Costos anuales operativos y de mantenimiento						
Mantenimiento digestores (USD)	3 925	41 367*	2 688	3 925	4 023	7 858
Mantenimiento generadores (USD)	4 468	124 348	4 378	11 588	23 777	72 971
Costos personal + administración + costo energético operación (USD)	33 033	214 728	26 113	29 165	31 600	97 112
Costo operativo por gestión de cosustratos (USD)	0	137 031	0	0	0	466 122
Bases de cálculo de generación de biogás para energía eléctrica						
Biogás generado (Nm ³ /día)	345,6	11 134,0	346	760	1 451	4 687
% de CH ₄	65	55	65	65	65	56,5
Metano generado (Nm ³ /día)	224,6	6 123,7	225	494	943,5	2 647,6
Generación (MWh/h)	0,03	1	0,030	0,083	0,166	0,500
Entrega diaria energía eléctrica en horas (h)	24	24	24	22,5	23,2	24
Reducción por mantenimiento de generadores/caídas de línea eléctrica/temperatura (%)	8,0	6,5	2,0	0	1,0	2,0
Reducción por falta de cosustratos	0	10,0	0	0	0	0
Facturación anual						
Valor de energía vendida a la red al año (USD)	27 320,7	1 280 055,00	29 102,47	77 025,04	158 048,53	815 556
Horas facturadas por año reales	8 059,2	7 314,6	8 584,8	8 212,5	8 425,7	8 584,8
Resultados análisis financiero						
Valor empresa (USD)	-114 370	3 814 699	-30 539,7	278 884,5	779 004	1 422 082
Deuda neta (USD)	0	2 895 660	0	0	0	0
Valor patrimonio (Capital) (USD)	-114 370	919 039	-30 539,7	278 884,5	779 004	1 422 082
Inversión capital (USD)	422 986	1 240 997	423 340	614 441	709 448	1 346 740
Tasa interna de retorno del proyecto (TIR) (%)	Negativa	11,81	Negativa	Negativa	11,45	10,72
Valor actual neto (VAN) (USD)	-537 357	1 274 311	-453 879	-335 557	69 555	75 343
VAN calculado a tasa ponderada promedio de costo de capital - WACC (%)	10,00	7,39	10,00	10,00	10,00	10,00

* Incluye el mantenimiento general de la planta.

Fuente: Elaborado por el autor.

Cuadro 18. Análisis de sensibilidad al precio de la energía eléctrica, Empresa B

Análisis financiero con modificación del valor de energía eléctrica			
Factor de variación del precio de la energía eléctrica	Valor de la energía eléctrica (USD/MWh)	TIR (%)	VAN (USD)
-20%	140,00	7,39	-157 431
-10%	157,50	9,78	558 440
-5%	166,25	10,81	916 375
0%	175,00	11,81	1 274 311
5%	185,75	12,78	1 632 246
10%	192,50	13,72	1 990 182
20%	210,00	15,53	2 706 052

Fuente: Elaborado por el autor.

Cuadro 19. Análisis de sensibilidad al precio de los cosustratos, Empresa B

Análisis financiero con modificación del valor del costo de cosustratos			
Factor de variación de costo cosustratos	Costo cosustratos (USD/año)	TIR (%)	VAN (USD)
0%	137 031	11,81	1 274 310
5%	143 883	11,71	1 236 275
10%	150 735	11,61	1 198 239
20%	164 438	11,40	1 122 168
50%	205 547	10,76	893 954
100%	274 062	9,65	513 598

Fuente: Elaborado por el autor.

Cuadro 20. Análisis de sensibilidad al precio de la energía eléctrica, Empresa C, Modelos A, B y C

Análisis financiero con modificación del valor de energía eléctrica							
Factor de variación: precio de energía eléctrica	Valor energía eléctrica (USD/MWh)	Modelo A		Modelo B		Modelo C	
		TIR (%)	VAN (USD)	TIR (%)	VAN (USD)	TIR (%)	VAN (USD)
0%	113,0	-	- 453 880	-	- 335 557	11,45	69 555
5%	118,7	-	- 441 573	0,68	- 302 985	12,48	121 329
10%	124,3	-	- 429 266	1,91	- 270 413	13,46	173 103
20%	135,6	-	- 404 653	4,16	- 205 269	15,31	276 651
50%	169,5	-	- 330 812	9,09	- 35 577	20,13	582 923
100%	226,0	0,78	- 207 744	14,87	216 744	26,68	1 088 531

Fuente: Elaborado por el autor.

y la situación ideal hay diversas posibilidades que no pueden evaluarse por completo en este análisis, pero el ejercicio permite entender el impacto que tiene la ubicación de los cosustratos.

El Cuadro 21 analiza el impacto de variaciones de precio de la energía eléctrica generada sobre la tasa interna de retorno y el valor actual neto del proyecto. El Cuadro 22 presenta un análisis de sensibilidad a variaciones del costo de elaboración de cosustratos. Finalmente, el Cuadro 23 realiza un análisis en función de la distancia de los proveedores de cosustratos, considerando que se encuentren desde a una distancia ideal (campo propio) hasta un máximo de 50 kilómetros. Esto puede ocurrir tanto por decisiones de la empresa como por factores externos, por ejemplo, que la cosecha propia no cumpla con las expectativas previstas.

Cuadro 21. Análisis de sensibilidad al precio de la energía eléctrica, Empresa C, Modelo D

Análisis financiero con modificación del valor de energía eléctrica			
Factor de variación: precio de energía eléctrica	Valor de energía eléctrica (USD/MWh)	TIR (%)	VAN (USD)
-40%	113,0	-	- 2 586 778
-20%	152,0	-	- 1 170 954
-10%	171,0	4,66	- 499 428
-5%	180,5	8,02	- 196 934
0%	190,0	10,72	75 343
5%	199,5	13,10	342 505
10%	209,0	15,29	609 667
20%	228,0	19,17	1 139 059
50%	285,0	28,52	2 704 471

Fuente: Elaborado por el autor.

Cuadro 22. Análisis de sensibilidad al precio de los cosustratos, Empresa C, Modelo D

Análisis financiero con modificación del costo de cosustratos			
Factor de variación de costo de cosustratos	Costo de cosustratos (USD/año)	TIR (%)	VAN (USD)
-10%	419 501	13,45	378 615
-5%	442 816	12,11	226 979
0%	466 122	10,72	75 343
5%	489 427	9,26	- 76 293
10%	512 734	7,64	- 236 503
20%	559 346	3,83	- 584 511
50%	699 182	-	- 1 734 857

Fuente: Elaborado por el autor.

Cuadro 23. Análisis de sensibilidad a la distancia de los proveedores de cosustratos, Empresa C

Análisis financiero con modificación de la distancia de proveedores de cosustratos			
Factor de variación: distancia del proveedor de cosustratos (km)	Costo cosustratos (USD/año)	TIR (%)	VAN (USD)
Campo propio	466 122	10,72	75 343
5	482 785	9,68	- 33 072
10	524 442	6,75	- 321 309
15	566 100	3,21	- 637 018
20	607 757	-	- 972 650
30	691 072	-	- 1 667 230
40	774 388	-	- 2 361 970
50	857 703	-	- 3 056 709

Fuente: Elaborado por el autor.

CONCLUSIONES

En el presente informe se analizaron distintos proyectos de generación de biogás y de energía eléctrica a partir de residuos de criaderos de cerdos. El objetivo fue brindar un acercamiento a la complejidad de factores que inciden en este tipo de emprendimientos, que pueda ser útil tanto para elaborar modelos de negocios, como para informar la formulación de políticas sectoriales.

Para tener un análisis con alto grado de certeza de la potencialidad de generación de biogás en un establecimiento se deben realizar estudios adicionales, como caracterización de los efluentes, mediciones de caudal más precisas, estudios de degradación anaeróbica, existencia de inhibidores, entre otros.

En este trabajo se analizaron las inversiones para proyectos llave en mano –desde la recepción y manejo de los residuos en planta, la digestión y generación de biogás, su tratamiento posterior, los generadores de energía eléctrica y la conexión para entregar la energía generada a la red–, como así también los costos operativos, tanto para el mantenimiento de equipos y motores, como para su operación directa. En el caso de las empresas B y C, se consideró también el costo de la gestión de los cosustratos (para la Empresa A quedó descartado porque no se disponía de ellos en el establecimiento y no se justificaba incorporarlos de otros proveedores debido a la pequeña escala del proyecto).

La gestión de cosustratos es un factor fundamental que debe analizarse en profundidad a la hora de evaluar posibles modelaciones. Si bien los cosustratos potencian la generación de energía y hacen más atractivo el proyecto desde un enfoque económico, aumentan los riesgos y son, en general, muy difíciles de evaluar. Su costo y/o disponibilidad pueden cambiar en el tiempo, con un impacto grande en el proyecto. La necesidad de realizar acuerdos de largo plazo con los proveedores de cosustratos debe considerarse, incluso, como un factor de riesgo.

Desde el punto de vista del negocio, el análisis realizado permite ver que los resultados de los proyectos en términos económico-financieros son dispares, siempre considerando las premisas que se contemplaron aquí. En el caso de la Empresa A, los números no son positivos: la baja generación de biogás y la alta inversión inicial hacen el proyecto muy poco atractivo. Por el contrario, la Empresa B, de tamaño mayor, recupera la inversión en el tiempo y se pagan los costos operativos. En cuanto a la Empresa C, los resultados varían según los modelos de proyecto desarrollados; los más atractivos son aquellos con mayor cantidad de sólidos orgánicos en el estiércol, lo que permite una base de generación segura, estable en el tiempo y de fácil operación.

Con un poco más de detalle, el estudio indica que para la Empresa A, con los valores calculados de inversión y operación, el proyecto no es rentable y tiene una tasa interna de retorno (TIR) y un valor actual neto (VAN) negativos, si se considera una tarifa de 113 USD/MWh y una inversión inicial con capital propio únicamente. Para alcanzar un valor actual neto positivo, el precio de la energía eléctrica entregada debería ser de 388,7 USD/MWh. Con ese supuesto, la TIR es de 10,03%. El proyecto tampoco parece atractivo en la mayoría de los escenarios que se trazan financiando una parte de la inversión, ya que la TIR y el VAN siguen siendo negativos en prácticamente todos los escenarios.

Para la Empresa B, el análisis indica que el proyecto es rentable, con una TIR arriba de los 11 puntos con un valor de energía eléctrica de 175 USD/MWh, y con un VAN mayor al capital propio del establecimiento. Esto se da principalmente por el modelo con el que se trabaja, con un análisis a 20 años y con toma de deuda de terceros por parte de la empresa para realizar el proyecto.

El análisis se llevó a cabo con distintos valores de energía cobrada por entrega a la red. Durante los diez primeros años de análisis se considera la amortización acelerada (Ley 25924 Art. 5), que genera una disminución en el cálculo del pago de impuesto a las ganancias durante este período; la tasa de cálculo es del 35% sobre el resultado del ejercicio.

Finalmente, para la Empresa C se plantearon cuatro modelos de proyecto, variando las condiciones de base en función del crecimiento previsto, lo que permite planificar la gestión de efluentes a medida que aumenta la producción de cerdos y su energía potencial. Entre estos modelos puede haber varios proyectos intermedios para analizar.

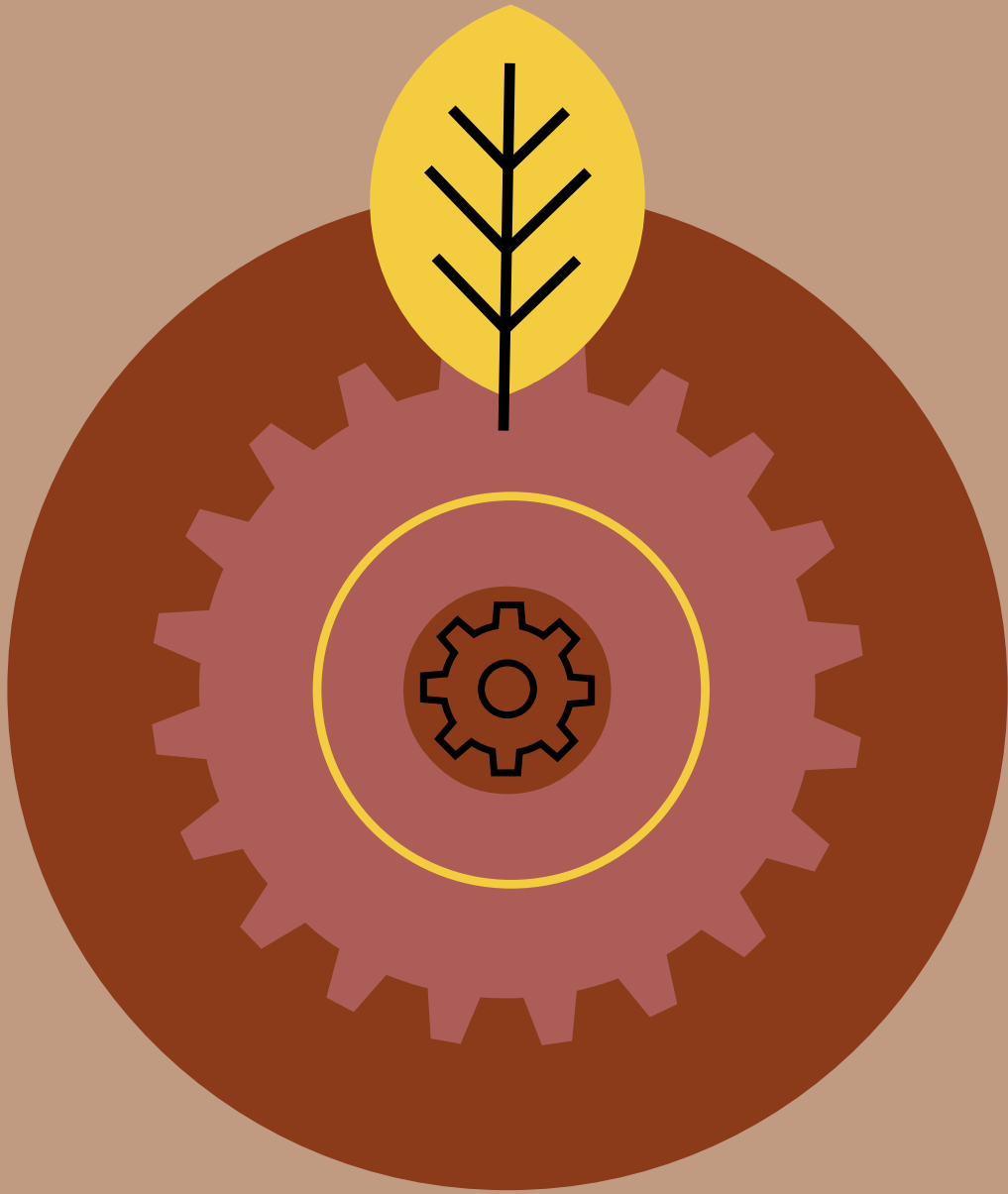
Debido a la potencialidad de generación de biogás del Modelo A, el proyecto no parece justificarse ni tomando un valor de comercialización de energía eléctrica del doble del considerado en el análisis; con un valor de venta de energía eléctrica de 226 USD/MWh, la TIR es menor a 1% y el VAN sigue siendo negativo. Esta situación se modifica en el Modelo B, donde para un valor de venta de energía eléctrica de 226 USD/MWh el VAN del proyecto es positivo, y la TIR, mayor al 14%.

El Modelo C presenta una TIR positiva (arriba del 10%) e incluso un VAN positivo. Su éxito durante el período de análisis deriva de que los sustratos son generados de forma constante como subproducto del negocio principal del establecimiento, la cría de cerdos, y no depende de otros cuyos valores o disponibilidad pueden variar en el tiempo.

El Modelo D presenta dificultades para la toma de decisiones, por la dependencia de cosustratos y la posible influencia de factores externos para su funcionamiento y éxito a lo largo de su vida útil. Estos factores modifican los costos operativos y hacen de los mismos un punto crítico del análisis. El otro factor crítico es el valor de venta de la energía eléctrica generada, ya que, a diferencia de los modelos anteriores, en éste se considera el valor de referencia de la licitación RenovAr Ronda 2, muy por encima de los utilizados en los otros proyectos. Si se toma el mismo valor (113 USD/MWh), el proyecto deja de tener una TIR positiva y el VAN también es negativo.

Visto desde un enfoque económico-financiero, el Modelo D no es mucho más atractivo que el Modelo C, requiere una mayor inversión y tiene muchos factores de riesgo asociados. Esta situación está dada por el alto costo de producción de los cosustratos para la generación de biogás en comparación con el costo nulo de lo que hoy se considera residuos. No se han analizado otros cosustratos ya que no hay potenciales fuentes significativas en el radio de análisis del proyecto, definido en 50 km de distancia.

Una gran limitante para la realización de estos proyectos es la alta inversión inicial. Los costos de equipamiento y obra civil pueden hacer que, aun teniendo un buen retorno de inversión, la empresa no esté dispuesta o no tenga la capacidad de invertir esa cantidad de dinero. Para subsanar esta dificultad, se analizan los proyectos adquiriendo un porcentaje de deuda en lugar de realizar el 100% de la inversión con capital propio. Con esto, la situación cambia. En el Anexo I se presentan alternativas, incluso con análisis de sensibilidad variando el precio de venta de energía eléctrica generada.



BIBLIOGRAFÍA

- Beily, M.E., R. Franco y D. Crespo.** 2011. *Efluente proveniente de producciones intensificadas de cerdos en galpones con ciclo all in all out: Características físicas, químicas y biológicas*. INTA.
- Braun, R.** 2013. *Eliminación mediante impactos ambientales positivos de estiércoles y purines en las empresas porcinas. Producción de biogás*. Ponencia en Fericerdo. INTA Marcos Juárez. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).
- Comisión Nacional de Energía (CNE) – Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ).** 2006. *Potencial de Biogás: Identificación y clasificación de los distintos tipos de biomasa disponibles en Chile para la generación de biogás*. Documento técnico.
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V (FNR).** 2010. *Guía sobre el biogás: desde la producción hasta el uso*. GIZ–BMZ (disponible en: <https://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/1/e/leitfadenbiogas-es-2013.pdf>).
- Garzón-Zúñiga, M.A. y G. Buelna.** 2014. “Caracterización de aguas residuales porcinas y su tratamiento por diferentes procesos en México”. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* Vol. 30 N.º 1. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).
- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA).** 2005. *Recomendaciones técnicas para la gestión ambiental en el manejo de purines de la explotación porcina*. Santiago de Chile. Ministerio de Agricultura de Chile (disponible en: http://biblioteca.inia.cl/medios/catalogo/libros/INIA_L0018.pdf).
- López Caroca, C.P.** 2009. *Modelación de procesos de tratamiento de purines de cerdo: fraccionamiento de materia orgánica*. Santiago de Chile. Universidad de Chile.
- Millares, P.** 2015. *Manejo de efluentes líquidos*. Presentación en la muestra Fericerdo, organizada por la EEA Marcos Juárez del INTA. Buenos Aires. MINAGRO.
- Vicari, M.P.** 2012. *Efluentes en producción porcina en Argentina: generación, impacto ambiental y posibles tratamientos*. Trabajo final de Ingeniería en Producción Agropecuaria, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Católica Argentina (UCA).

ANEXOS

ANEXO I – Esquema de flujo de fondos y análisis financieros complementarios

Esquema de flujos de fondos, Empresas A y B

Cuadro A-1. Esquema de flujo de fondos, Empresas A y B

Flujo de fondos	Empresa A	Empresa B
	Generación de 1 MWh	
Ingresos		
Precio de tarifa eléctrica (USD/MWh entregado a la red)	113	175
Aumento precio anual	1,35	1,35
Generación de energía eléctrica del total de horas del año (%)	92	84
Electricidad generada y vendida a la red (MWh/año)	8059	7358
Ingresos por bioabono	0	0
Ingresos totales	Por venta de electricidad	Por venta de electricidad
Egresos		
Ingresos brutos + Impuesto al cheque (%)	4,7	4,7
Costos operativos	Costos	Costos
Gestión de cosustratos	Costos	Costos
Mantenimiento	Costos	Costos
Costos operativos totales	Suma de costos operativos reales	Suma de costos operativos reales
EBITDA: Beneficios antes de Impuesto a las Ganancias, amortizaciones y deuda de largo plazo	Suma Ingresos – Egresos	Suma Ingresos - Egresos
Depreciación acelerada (para cálculo de Impuesto a las Ganancias - Ley 25924 Art. N.º 5)	10 años	10 años

Flujo de fondos	Empresa A	Empresa B
Ley 26093 de Biocombustibles	-	IVA compra sobre inversiones
Beneficio impositivo (Ley 8810)	Ingresos Brutos	-
Capital de trabajo	Medio año de egresos	Medio año de egresos
Intereses para descontar en el cálculo de IG	Intereses pagados del préstamo por año	Intereses pagados del préstamo por año
Impuesto a las Ganancias para pagar	Valor a una tasa del 35%	Valor a una tasa del 35%
Flujo de fondo libre	Ingresos - Egresos - IG	Ingresos - Egresos - IG
Amortización = Capital + Interés	Pago de capital + intereses del préstamo	Pago de capital + intereses del préstamo
Cash disponible para pagar dividendos	Ingresos - Egresos - IG - amortización deuda	Ingresos - Egresos - IG - amortización deuda

Análisis con financiamiento, Empresa C

Para cada proyecto de la Empresa C, se consideró un financiamiento del 75% (Cuadro A-2). Se presenta además un análisis de sensibilidad con tasas de interés de 3, 5 y 7% (Cuadro A-3 y Cuadro A-4).

Cuadro A-2. Análisis con financiamiento, Empresa C, Modelos A, B, C y D

Capex	Modelo A	Modelo B	Modelo C	Modelo D
Planta generación de biogás completa (USD)	268840	392512	402306	785829
Tratamiento de biogás, generación de energía eléctrica e inyección a la red (USD)	154500	221929	307141	560910
Inversión total proyecto (USD)	423340	614442	709448	1346740
Capital propio inversores (USD)	105835	153610	177362	336685

Cuadro A-3. Análisis de sensibilidad, Empresa C, Modelos A, B y C

Tasa de interés	Precio USD/MW		TIR-VAN*	Modelo A	Modelo B	Modelo C
7%	0%	113	TIR (%)	-	2,73	15,62
			VAN (USD)	-459222	-137438	669250
	5%	118,7	TIR (%)	-	4,04	16,64
			VAN (USD)	-439019	-83968	760343
	10%	124,3	TIR (%)	-	5,25	17,62
			VAN (USD)	-418817	-30498	851436
5%	0%	113	TIR (%)	-	4,03	16,69
			VAN (USD)	-461121	-43561	917366
	5%	118,7	TIR (%)	-	5,33	17,72
			VAN (USD)	-437210	19724	1027580
	10%	124,3	TIR (%)	-	6,55	18,70
			VAN (USD)	-413298	83010	1137794
3%	0%	113	TIR (%)	-	5,71	18,19
			VAN (USD)	-463571	95336	1291844
	5%	118,7	TIR (%)	-	7,02	19,22
			VAN (USD)	-434192	173095	1430660
	10%	124,3	TIR (%)	-	8,23	20,21
			VAN (USD)	-404812	250854	569475

*La TIR y el VAN del proyecto están calculados a una tasa ponderada promedio del costo capital (WACC).

Cuadro A-4. Análisis de sensibilidad, Empresa C, Modelo D

Tasa de interés	Precio USD/MW		TIR-VAN*	Modelo D
7%	0%	190	TIR (%)	15,11
			VAN (USD)	1410957
	5%	199,5	TIR (%)	17,46
			VAN (USD)	1881011
	10%	209	TIR (%)	19,62
			VAN (USD)	2351066
5%	0%	190	TIR (%)	16,32
			VAN (USD)	1986087
	5%	199,5	TIR (%)	18,68
			VAN (USD)	2554810
	10%	209	TIR (%)	20,84
			VAN (USD)	3123534
3%	0%	190	TIR (%)	17,98
			VAN (USD)	2857244
	5%	199,5	TIR (%)	20,36
			VAN (USD)	3573555
	10%	209	TIR (%)	22,52
			VAN (USD)	4289866

*La TIR y el VAN del proyecto están calculados a una tasa ponderada promedio de costo capital (WACC).

ANEXO II Marco normativo

A continuación, se listan normas nacionales y provinciales, generales y específicas, relacionadas con aspectos ambientales, como el manejo y disposición de efluentes y residuos en general, y la revalorización de recursos o residuos mediante su utilización como fuente de energía y/o enmiendas o fertilizantes orgánicos.

Normas nacionales

Artículo 41.º de la Constitución Nacional.

Ley 25675/02, *Ley general del ambiente*.

Ley 25688/02, *Régimen de gestión ambiental de aguas*.

Ley 25612/02, *Gestión integral de residuos industriales*.

Ley 24051/92, *Ley de Residuos Peligrosos*, y Decreto reglamentario 831/93.

Código Alimentario Argentino, Capítulo XII, 982 (Res. MSyAS 494/94).

Ley 26190/06, *Régimen de fomento nacional para el uso de fuentes renovables de energía destinada a la producción de energía eléctrica*.

Ley 27191/15, *Régimen de fomento nacional para el uso de fuentes renovables de energía destinada a la producción de energía eléctrica* -modificatoria de la Ley 26190-, y su Decreto reglamentario 531/16.

Normas ambientales de la provincia de Córdoba

Ley 7343/85, *Principios rectores para la preservación, conservación, defensa y mejoramiento del ambiente*, modificada por leyes 8300, 8779 y 8789.

Ley 10208/14, *Ley de política ambiental* (complementa los presupuestos mínimos de la Ley 25675).

Ley 5589/73, *Código de aguas*.

Decreto 847/16, *Reglamentación para la preservación del recurso hídrico de la provincia* (deroga Decreto 415/99).

Ley 8936/01, *Conservación de suelos*.

Ley 8810/99, *Ley de energías renovables*.

Normas ambientales de la provincia de Buenos Aires

Ley 11723/95, *Ley del Ambiente*.

Ley 5965, *Ley de protección a las fuentes de provisión y a los cursos y cuerpos receptores de agua y a la atmósfera*, y Resolución 236/03, sobre límites de descarga admisibles.

Código de aguas (1999).

Ley 11720, *Ley de residuos especiales*.

Ley 13656, *Ley de promoción industrial* de la provincia de Buenos Aires.

Ley 12603/00, *Declaración de interés provincial para la generación y producción de energía eléctrica a través de fuentes de energía renovables*.

Modelo de negocio de aprovechamiento energético de biogás en criaderos de cerdos

COLECCIÓN
INFORMES
TÉCNICOS

N.º 5

Organización de las Naciones Unidas
para la Alimentación y la Agricultura (FAO)

www.fao.org

ISBN 978-92-5-132015-0



9 789251 320150

CA7227ES/1/12.19