



Escuela de Posgrado

“Análisis de la capacidad de generación de biogás en Argentina a partir de residuos orgánicos producidos en granjas con sistemas de confinamiento”

TESIS PRESENTADA
PARA EL CUMPLIMIENTO PARCIAL DE
LOS REQUERIMIENTOS PARA EL TÍTULO DE MAGISTER EN GESTIÓN AMBIENTAL

Alumna: Verónica Chorkulak
Licenciada en Economía

Tutor: Mariana Quaglia
Licenciada en Ciencias Químicas
Coordinadora de Medio Ambiente de la empresa Total Austral de Argentina

Director de carrera: Ing. Julio Torti

Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Mayo de 2016

AGRADECIMIENTOS

La presente tesis es el cierre de un excelente periodo y aprendizaje que comenzó en el año 2012, con el inicio de la cursada. La misma formalizó conocimientos con los cuales venía trabajando y me instruyó en temáticas y problemáticas que me eran desconocidas, y de esta forma, me abrió las puertas a un amplio mundo de oportunidades laborales. Es por esto que, en primer lugar, quisiera agradecer al Instituto Tecnológico de Buenos Aires (ITBA), por la calidad humana y técnica que demostraron todos los profesores y responsables de la maestría.

A continuación, quiero agradecer a aquellos que han despertado y ampliado mi curiosidad en la temática, en particular, a Agustín Mascotena quién confió en mí para liderar distintos proyectos ambientales, y a mis compañeros de cursada, de los cuales he aprendido inmensamente y quienes son excelentes personas y profesionales.

No quisiera dejar de agradecer a aquellas personas que me brindaron apoyo e información para desarrollar la investigación, en especial, a Manuel Ron, Guido Casanovas, Julio Menéndez y Jorge Kaloustian.

Por último, quisiera agradecer a mi tutora, Mariana Quaglia, por el tiempo e interés dedicado para guiarme en el desarrollo de la investigación, y a mi familia por acompañarme en todo momento.

Tabla de contenido

1. Resumen	6
1.1 Resumen del documento	6
1.2 Abstract	7
2. Introducción	8
2.1 Identificación del problema.....	9
3. Marco teórico.....	10
3.1 Introducción al concepto de energía	10
3.2 Estructura Energética en Argentina	11
3.2.1 La Dependencia del Gas Natural	15
3.2.2 La importación de Combustibles.....	15
3.2.3 Políticas y regulación de la generación de energía	16
3.2.4 Precios de la energía en Argentina	17
3.2.5 Energías Renovables	19
3.3 El biogás y sus usos.....	20
3.4 Aspectos tecnológicos de la producción de biogás	22
3.4.1 Factores que influyen en la producción de biogás.....	23
3.4.2 Materias primas que influyen en el proceso de producción de biogás	24
3.4.3 Eficiencia de la producción de biogás	26
3.4.4 Biodigestores.....	26
3.4.5 Almacenamiento de biogás	29
4. Estado del arte	31
4.1 Crisis energética.....	31
4.1.1 El costo de la crisis energética	35
4.2 Plan de Energías Renovables.....	37
4.3 Generación de biogás en Argentina y en el mundo	42
5. Métodos y materiales	45
6. Resultados.....	46
6.2 Políticas de estímulo a la producción de biogás	46
6.3 Casos de estudio de la tecnología aplicada al sector Agropecuario	48
6.4 Descripción de los sistemas de confinamiento.....	50
6.4.1 Estimación del potencial de producción de biogás a partir de sistemas de confinamiento	53
6.5 Análisis de los beneficios y ahorros de la importación de energía a partir del biogás	58
6.5.1 Beneficios obtenidos a partir de la generación de biogás	58

6.5.2 Ahorros de importación de energía	60
6.6 Análisis de viabilidad económica y sensibilidad de variables	61
7. Conclusiones	65
8. Bibliografía.....	67
9. Anexos.....	70
9.1 Anexo 1: Análisis de casos de estudio.....	70
9.2 Anexo 2: Análisis de rentabilidad económica.....	80

Índice de Cuadros

Tabla 1: Composición del precio monómico Año 2015.....	18
Tabla 2: Producción y composición teórica de biogás en diversos compuestos orgánicos	25
Tabla 3: Producción de biogás por tipo de residuo animal y por animal	25
Tabla 4: Energía equivalente (Valor Energético) del Biogás en comparación con otras fuentes.....	26
Tabla 5: Consumo y rendimiento energético de artefactos	31
Tabla 6: Plan de incorporación de potencia (en MW)	35
Tabla 7: Proyectos de generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables	38
Tabla 8: Ingresos de proyectos de Energías Renovables	40
Tabla 9: Evolución de las Fuentes de Energías Renovables	40
Tabla 10: Proyectos que aplican distintos niveles tecnológicos	49
Tabla 11: Estratificación de establecimientos de engorde a corral (bovinos) en Junio 2013.....	55
Tabla 12: Estratificación de establecimientos con existencias porcinas.....	56
Tabla 13: Análisis de la capacidad de producción de biogás	57
Tabla 14: Cálculo del ahorro de Emisiones de Toneladas de Carbono Equivalente anuales.....	59
Tabla 15: Proyectos bajo análisis de viabilidad económica.....	62
Tabla 16: Escenarios de precios para el estudio de viabilidad económica	63
Tabla 17: Resultados del análisis para cada tipo de tecnología.....	64
Tabla 18: Flujo Financiero del proyecto de inversión para el Caso 1	80
Tabla 19: Análisis de VAN y TIR para el Caso 1: Escenario 1	81
Tabla 20: Análisis de VAN y TIR para el Caso 1: Escenario 2	81
Tabla 21: Análisis de VAN y TIR para el caso 1: Escenario 3	82
Tabla 22: Flujo Financiero del proyecto de inversión para el Caso 2.....	83
Tabla 23: Análisis de VAN y TIR para el caso 2: Escenario 1	84
Tabla 24: Análisis de VAN y TIR para el caso 2: Escenario 2	84
Tabla 25: Análisis de VAN y TIR para el caso 2: Escenario 3	85
Tabla 26: Flujo Financiero del proyecto de inversión para el Caso 3.....	85
Tabla 27: Análisis de VAN y TIR para el caso 3: Escenario 1	86
Tabla 28: Análisis de VAN y TIR para el caso 3: Escenario 2	86
Tabla 29: Análisis de VAN y TIR para el caso 3: Escenario 3	87

Índice de Figuras

Figura 1: Evolución de la tasa de crecimiento de la demanda eléctrica	11
Figura 2: Cubrimiento de la demanda de energía por tipo	12
Figura 3: Evolución de la potencia instalada por tipo de generación (MW).....	13
Figura 4: Reservas comprobadas de Gas Natural.....	15
Figura 5: Gasoil utilizado para la generación de energía eléctrica	16
Figura 6: Esquema de un biodigestor tubular	28
Figura 7: Aplicaciones del biogás.....	30
Figura 8: Evolución de la demanda.....	32
Figura 9: Evolución de la demanda máxima de potencia	32
Figura 10: Evolución de la potencia instalada.....	33
Figura 11: Proporción calórica de consumo de combustibles fósiles 2014	37
Figura 12: Evolución del número de plantas de biogás en Alemania y su potencia eléctrica total instalada (MW)	44
Figura 13: Ingresos y Egresos bovinos para el período 2008-2013	53
Figura 14: Evolución de las existencias bovinas en sistemas de confinamiento.....	54
Figura 15: Engorde a corral de bovinos por provincia	55
Figura 16: Distribución de granjas avícolas por tipo de actividad	56
Figura 17: Costo de Generación distribuida en 2014 con combustibles.....	61
Figura 18: Esquema de la planta bioeléctrica	72

1. Resumen

1.1 Resumen del documento

La matriz energética argentina está basada principalmente en fuentes provenientes de combustibles fósiles, y actualmente la potencia instalada resulta insuficiente para cubrir las necesidades energéticas de la población creciente. En este contexto, las energías renovables van ganando protagonismo a nivel mundial, mientras que en Argentina representan solamente un 1,9% de la matriz energética.

Por otro lado, los aumentos demográficos mundiales han llevado a una creciente demanda de alimentos y productos, intensificando las producciones de los países que basan sus economías en la producción agropecuaria. En particular, Argentina es uno de los principales países agroexportadores y la actividad ganadera es otro de los grandes puntales de la economía nacional. Dentro de la actividad ganadera, se destacan la producción de vacunos, ovinos, aves y porcinos. En los últimos 20 años, ha avanzado la producción ganadera en sistemas de confinamiento, en parte, como resultado del avance de la frontera agrícola sobre zonas tradicionalmente ganaderas. Esto ha conducido a un aumento de los residuos generados por esos sistemas productivos que no han sido tratados y actualmente los mismos están generando un gran impacto ambiental.

Una de las tecnologías de aprovechamiento de estos residuos agropecuarios con fines energéticos es la producción de biogás. Desde proveer gas a una familia o escuela en el medio rural alejada de las redes de distribución hasta plantas de gran desarrollo tecnológico que generan grandes cantidades de energía, el biogás es una alternativa exitosa y desarrollada en varios países del mundo.

Este biogás puede ser utilizado en la generación de energía térmica, eléctrica y como biocombustible. Como resultado de este proceso también se obtiene un subproducto que puede ser utilizado como biofertilizante. Asimismo, existen múltiples beneficios de la implementación de esta tecnología, entre ellos, la sustitución de energías no renovables con la consecuente reducción de emisiones de gases efecto invernadero (GEI) que provocan el calentamiento global.

En este trabajo se realizará un análisis de la capacidad del país de producir biogás a partir de residuos generados en sistemas de confinamiento y de los beneficios que esto trae aparejado. Asimismo, se estudiará la viabilidad económica de la implementación de este tipo de energía.

1.2 Abstract

Argentina's energy matrix is mainly based on sources from fossil fuels, and the installed capacity is currently insufficient to meet the energy needs of the growing population. In this context, renewable energies are gaining prominence worldwide; while in Argentina represent only 1.9% of the total energy matrix.

On the other hand, world population increases have led to a growing demand for food and products, intensifying the production of countries that base their economies on agricultural production. In particular, Argentina is one of the major agricultural exporters and livestock farming is another pillar of the national economy. Within the livestock activity, cattle, sheep, poultry and swine production are the most important. In the past 20 years, livestock production in feedlots has increased, partly as a result of the advance of the agricultural frontier on traditionally pastoral areas. This fact has led to an increase in the waste generated by these production systems that has not been treated accordingly, and therefore is currently generating a great environmental impact.

One of the technologies for the use of these agricultural residues for energy purposes is the production of biogas. From providing gas to a family or to a rural school far from energy distribution networks, to high-technology plants that generate large amounts of energy, the biogas is a successful and developed energy alternative in several countries.

This biogas can be used for the generation of thermal and electric energy, as well as biofuels. As a result of this process, a byproduct that can be used as bio fertilizer is also obtained. Moreover, there are many benefits of implementing this technology, including the replacement of non-renewable energy with the consequent reduction of greenhouse gas emissions (GHG) emissions that cause global warming.

This paper presents an analysis of the country's capacity to produce biogas from waste generated by feedlots systems and the benefits that are linked to this solution. Additionally, the economic feasibility of the implementation of this type of energy will be studied.

2. Introducción

La matriz energética Argentina actual presenta una potencia instalada que resulta insuficiente para cubrir la demanda y por lo tanto, plantea la necesidad de incrementar la oferta. Además, dicha matriz tiene un alto componente térmico que implica el uso de combustibles fósiles y esto trae aparejado diversas problemáticas. Una consecuencia directa es la presión sobre las reservas de combustibles fósiles, las cuales han ido descendiendo fuertemente en los últimos años. A partir de este escenario, y en concordancia con la tendencia internacional en esta materia, en los últimos años se han sancionado reglamentaciones tendientes al desarrollo de energías renovables.

La situación precedente muestra la necesidad de buscar fuentes de energía alternativas que apunten a la diversificación de la matriz energética, e intensifiquen el uso de recursos renovables. Frente a este contexto, se requiere analizar el potencial y el uso de recursos renovables que tienen un bajo nivel de explotación.

A través de este trabajo de investigación se pretende estudiar la capacidad que tiene la Argentina de generar biogás, y evaluar su viabilidad económica en comparación con otros tipos de generaciones e incluso con el costo actual de importar energía. Teniendo en cuenta que el país posee extensas áreas destinadas a la crianza y producción de cerdos, ganado bovino y aves en diferentes regiones, se analizará la capacidad de generación de biogás en granjas con sistemas de confinamiento donde se generan gran cantidad de excretas animales.

Se estudiará la tecnología empleada para el aprovechamiento de desechos orgánicos producidos por los animales en granjas y corrales de engorde. Estos desechos son sometidos a un proceso de biodegradación anaeróbica para la producción de biogás, que puede servir como combustible para la generación de energía eléctrica, pudiendo ser incorporada a la red tradicional de energía.

Se realizará un análisis de unidades productivas que actualmente estén produciendo biogás, así como de la capacidad de generación de biogás del país a partir de un relevamiento de los establecimientos con sistemas de confinamiento y sus existencias animales actuales. Se calculará el impacto en caso que estas unidades productivas incorporen biodigestores para tratar las excretas de los animales que se desarrollan en los mismos.

Por otra parte, se llevará a cabo un análisis de los beneficios económicos que obtendría el país, incluyendo los ahorros en el consumo de energía importada. Asimismo, se realizará un análisis de rentabilidad de proyectos de distinto nivel tecnológico para producir biogás usando como datos los actuales precios de la energía y los que deberían existir para que este tipo de energía sea rentable.

2.1 Identificación del problema

La energía es muy relevante dentro de la política estratégica de cualquier país. En este sentido, la crisis energética que atraviesa el país genera repercusiones en múltiples sectores económicos, incluyendo la matriz de producción y el sector de transporte, y trae aparejadas grandes consecuencias sociales al afectar la calidad de vida de los habitantes. A nivel internacional, este posicionamiento respecto de los recursos energéticos también tiene consecuencias como la dependencia de importaciones y el consecuente peso en la balanza comercial.

La situación precedente implica la necesidad de buscar fuentes energéticas alternativas que apunten a la diversificación de la matriz energética, intensificando el uso de recursos renovables. Frente a este contexto, se requiere analizar el potencial y el uso del biogás como uno de los recursos renovables que tienen un bajo nivel de explotación.

Los objetivos de este trabajo son evaluar la capacidad de generación de biogás en Argentina a partir de residuos orgánicos producidos en establecimientos con sistemas de confinamiento, determinar si esta es una solución viable en términos de rentabilidad para cubrir la brecha energética del país, analizar el costo en comparación con la importación de energía y conocer que otros beneficios traería aparejada la producción de biogás.

La hipótesis de este trabajo es que el biogás constituye una fuente de energía renovable viable que puede ser adoptada en las diversas unidades productivas del sector agropecuario, y de esta forma, puede contribuir a disminuir la presión sobre los recursos no renovables y a diversificar la matriz energética actual de Argentina.

3. Marco teórico

3.1 Introducción al concepto de energía

Las fuentes de energía se clasifican en primarias y secundarias. Las primeras se refieren a aquellas que se obtienen de la naturaleza y que no han sufrido proceso alguno en centros de transformación, como las hidroenergía, los combustibles nucleares, los hidrocarburos (petróleo crudo, gas natural, y carbón mineral), leña, eólica, solar, etc. Por otra parte, las fuentes de energía secundaria son aquellos productos energéticos que no pueden ser obtenidos de la naturaleza y que son el resultado de la manipulación del hombre sobre las energías primarias (en centros de transformación) con el fin de satisfacer las necesidades del sistema productivo (Dicco, 2014).

La oferta total de energía es aquella cantidad de energía primaria y secundaria disponible para cubrir las necesidades energéticas del país, tanto del consumo final de los sectores socioeconómicos, como del consumo propio del sector energético y de los centros de transformación. Los flujos energéticos primarios ingresan al conjunto de centros de transformación y obtienen energía secundaria. Estos centros de transformación están constituidos por centrales eléctricas (hidroeléctricas, termoeléctricas, nucleoeeléctricas, eólicas y paneles solares) asociadas al Servicio Público y de Autoproducción, así como también por plantas de tratamiento de gas, centros de carboneras y centros de coquerías y altos hornos.

Para analizar el sistema eléctrico es necesario destacar que no es apropiado referirse al concepto de generación de energía para realizar comparaciones entre oferta y demanda, ya que, en el mercado eléctrico no es posible su almacenamiento y por lo tanto ex -post oferta y demanda de energía se igualan siempre, excepto que la demanda de energía sobrepase la oferta, en cuyo caso deberán realizarse restricciones a los suministros, aumentar la cantidad importada o disminuir la exportada.

La valorización de la energía eléctrica se efectúa en términos de potencia y energía: la potencia es el término que genéricamente caracteriza la capacidad de una instalación de generación eléctrica, o la dimensión de la demanda, y se mide por la cantidad de energía que se produce (o se consume) en una unidad de tiempo y en general se mide en megawatts (MW) o en gigawatts (GW). Por otro lado, la energía representa el trabajo realizado (o susceptible de ser realizado) por la potencia eléctrica durante un tiempo determinado, y se expresa como el producto de la potencia en juego por el tiempo de funcionamiento (en términos matemáticos rigurosos: la integral del producto de la potencia por la diferencial de tiempo) y su unidad de medida es en general el megawatts-hora (MWh) o gigawatts-hora (GWh).

Por lo tanto, referirse a la potencia instalada del sistema eléctrico, es similar a referirse a la capacidad de oferta total que tiene el sistema, mientras que el concepto de potencias máximas generadas (o demanda máxima simultánea) en un determinado momento del tiempo es asimilable al concepto de demanda, ya que significa el máximo de producción necesario para cubrir la

demanda en un determinado momento. Cuanto mayor distancia exista entre ambos implica que la matriz energética tendrá mayores probabilidades de responder sin restricciones a la demanda de los consumidores de energía.

En la Argentina, la evolución de la demanda de energía de los últimos diez años muestra una tasa de crecimiento anual positiva (exceptuando el año 2009 producto de la crisis global), lo cual requiere incrementar cada año la capacidad instalada alrededor de 900 MW para satisfacer la creciente demanda eléctrica (Cámara Argentina de Energías Renovables, 2015).

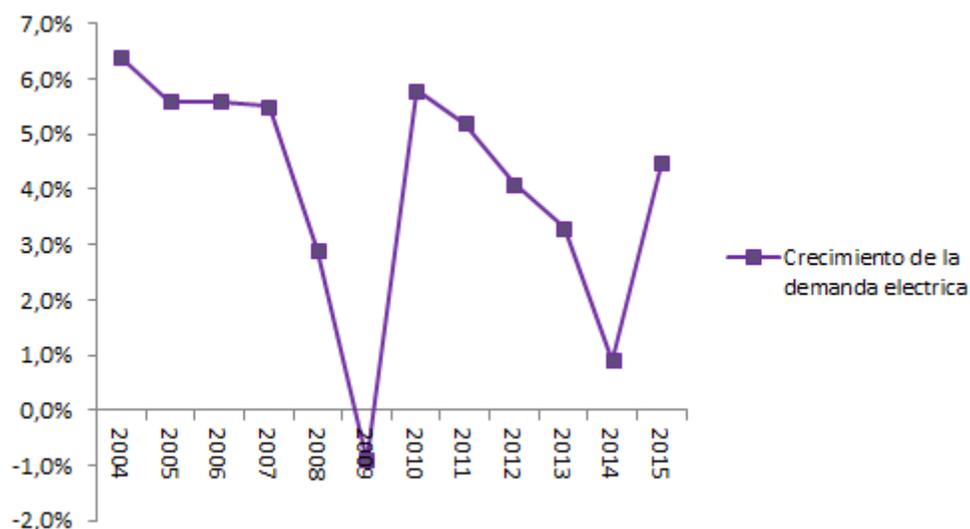


Figura 1: Evolución de la tasa de crecimiento de la demanda eléctrica

Fuente: Elaboración propia en base a datos de Cammesa (Cammesa, 2015)

3.2 Estructura Energética en Argentina

El sector eléctrico en Argentina se encuentra dividido en tres áreas: generación, transmisión y distribución. El Estado Nacional posee participaciones en los segmentos de generación y transporte troncal, mientras que el segmento de distribución se encuentra principalmente a cargo de empresas provinciales, privadas y cooperativas.

Generación

Los generadores de electricidad, venden la misma en el Mercado Eléctrico Mayorista (MEM), operado por Cammesa. La participación del Estado Nacional en el sector de generación, hacia el año 2013, se encontraba en el orden del 10% (Dicco, 2014).

Las usinas o centrales eléctricas son plantas que se encargan de producir energía eléctrica. Algunas de ellas se ubican en las proximidades de fuentes de energía primaria (yacimientos de hidrocarburos, ríos, lagos, etc) y otras en cercanías de los centros de consumo (grandes aglomeraciones urbanas o parques industriales). En las usinas existen máquinas eléctricas llamadas generadores, que transforman la energía mecánica en electricidad. Estas máquinas deben ser movidas por otras, denominadas primarias, que pueden ser de combustión interna (motores diesel o turbinas de gas), centrales de vapor (de combustible fósil o nuclear), centrales hidráulicas y autogeneradores (energía eólica). Existen diferentes tipos de centrales eléctricas, las cuales dependen de disímiles materias primas que son empleadas para la obtención de energía eléctrica, y se diferencian por la fuente de energía primaria que origina la transformación. En Argentina se emplean tres tipos de usinas para generación en gran escala: termoeléctricas, hidroeléctricas y nucleoeeléctricas (Dicco, 2014).

Según el reporte anual 2015 de Cammesa, durante el año 2015 hubo una demanda de energía de 136,871 GWh la cual fue cubierta por energía proveniente de generación térmica en un 63%, hidráulica 30%, nuclear 5 %, eólica y solar 0,4% y debió recurrirse en un 1,2 % a la importación.

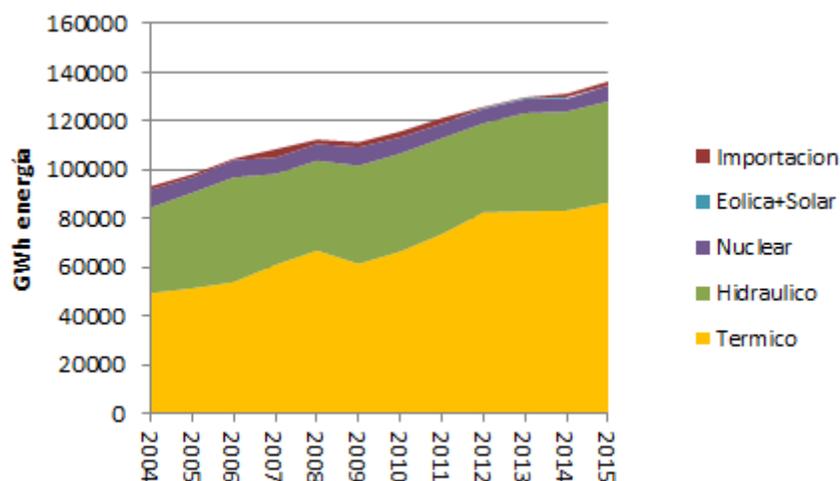


Figura 2: Cubrimiento de la demanda de energía por tipo

Fuente: Elaboración propia en base a datos de Cammesa (Cammesa, 2015)

La potencia de energía instalada en Argentina hacia fin del año 2015 era de 31,815 MW, y la disponible de 25,794 MW (Cammesa, 2015). Es posible advertir que la generación térmica convencional significa un 64% del total de la potencia. La mayoría de estas instalaciones utilizaron gas natural como combustible (68,8%), fueloil en un 17,2%, gasoil en un 10,9%, carbón mineral en

un 2,9% y biocombustible en un 0,2%. En la figura 3 se observa la evolución de la potencia instalada en el periodo 2004-2015.

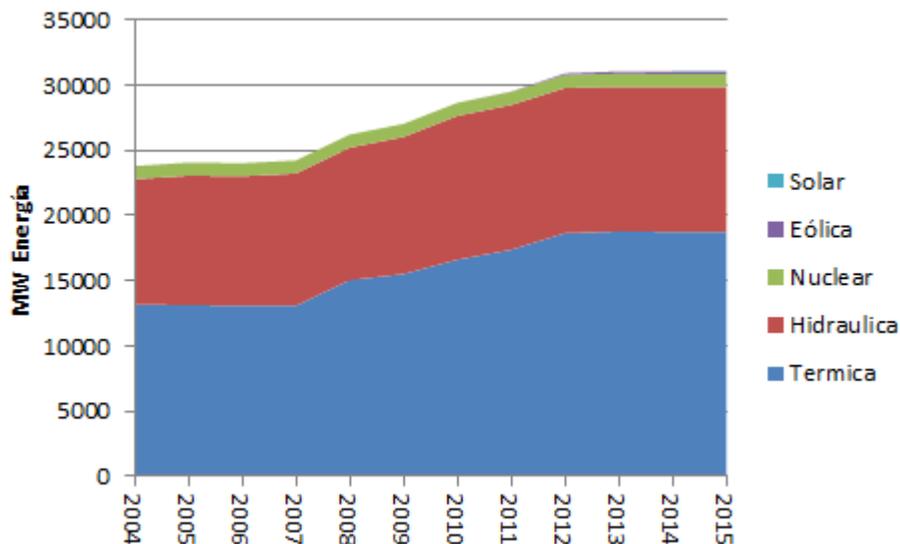


Figura 3: Evolución de la potencia instalada por tipo de generación (MW)

Fuente: Elaboración propia en base a datos de Cammesa (Cammesa, 2015)

En este periodo, el promedio de la tasa de crecimiento anual de la potencia instalada fue de 2,7%, acentuándose el proceso de dependencia hidrocarburífera ya que como es posible advertir en la figura 3 el incremento de la potencia instalada provino principalmente de la incorporación de centrales térmicas.

Los generadores eléctricos se conectan entre sí y con los centros de consumo por medio de las redes de transporte y distribución.

Distribución

Las redes de distribución son aquellas que se encargan de distribuir la electricidad desde los sistemas de líneas de media y baja tensión a los medidores de hogares (urbanos y rurales), comercios, fábricas, hospitales, escuelas, organismos públicos, ferrocarriles metropolitanos, alumbrado público, etc.

En el sector de la distribución, las únicas concesiones para el servicio público de distribución de electricidad otorgadas por el Estado Nacional tras la privatización de SEGBA (Servicios Eléctricos de Gran Buenos Aires) corresponden a EDENOR (Empresa Distribuidora y Comercializadora Norte), EDESUR (Electricidad Distribuidora Sur) y EDELAP (Empresa de Electricidad de la Plata), en un mercado controlado por empresas privadas (Dicco, 2014).

Transmisión

Las redes de transporte o transmisión consisten en sistemas de líneas de alta y extra alta tensión que transportan la electricidad desde los generadores hasta las aglomeraciones urbanas y parques industriales.

El Sistema de Transporte de Energía Eléctrica en Alta Tensión (STEEAT) está a cargo de la Compañía de Transporte de Energía Eléctrica en Alta Tensión (Transener), que opera la red de transmisión eléctrica nacional. Por otro lado, existen diversas empresas que se encargan del Sistema de Transporte de Energía Eléctrica por Distribución Troncal (STEEDT). En el segmento de la transmisión de energía, el Estado Nacional posee participaciones accionarias en Transener y por medio de esta en Transba.

Todos estos elementos e instalaciones de transmisión, compensación y maniobra integran el Sistema Argentino de Interconexión (SADI), conformado por el Sistema de Transporte de Alta Tensión y por los Sistemas de Transporte por Distribución Troncal de las diferentes regiones eléctricas del país.

Hasta Febrero de 2006, las regiones eléctricas que conforman el SADI se encontraban interconectadas entre sí, a excepción de la región Patagonia que operaba aislada en el Sistema Interconectado Patagónico (SIP). De esta manera, en el SADI operaba el Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) y en el SIP el Mercado Eléctrico Mayorista del Sistema Patagónico (MEMSP). A partir del 1 de Marzo de 2006, se realizó la interconexión del MEMSP al MEM, por medio de la Línea de Extra Alta Tensión (LEAT) de 500kv que une la Estación Transformadora (ET) Choele Choel (norte de la provincia de Río Negro) con la nueva ET Puerto Madryn (norte de la provincia de Chubut), abarcado una distancia de 354 km (Dicco, 2014).

En total se adicionaron entre 2004 y 2013 cerca de 5.200 km de líneas de alta y extra alta tensión y 9.257 MW de potencia instalada en el parque de generación, que representan incrementos de 61% y 52% respectivamente, en relación al año 2003. De los 9.257 MW de potencia instalada adicional en el parque de generación, el 52,4% correspondió a equipos de generación térmica fósil, 46,1% a turbinas de centrales hidroeléctricas y el 1,5% restante a equipos que emplean otras formas renovables de energía. En dicho período la demanda de electricidad aumentó 41% en las industrias, 125% en los comercios y 45% en los hogares (De Dicco, 2014).

Es importante destacar que los equipos instalados en el SADI y que comercializan su generación de energía eléctrica en el MEM se clasifican de acuerdo al recurso natural que utilizan: Térmico Fósil, Nuclear e Hidráulico. Ninguno de los demás equipos tecnológicos empleados en el país, como los aerogeneradores eólicos, solares y geotérmicos, se encuentran operando actualmente en el SADI, ya que lo hacen de forma aislada satisfaciendo necesidades de aglomeraciones urbanas o semi-urbanas que no están conectadas al sistema interconectado.

3.2.1 La Dependencia del Gas Natural

El gas natural es un recurso de vital importancia para las industrias, las centrales eléctricas, los comercios, el uso vehicular y las distribuidoras. Sin embargo, el elemento más dinámico de la demanda de gas natural en Argentina ha sido la generación eléctrica. Hacia fin del año 2012, las reservas comprobadas totales (petróleo y gas natural), eran de alrededor de 603 millones de Toneladas Equivalentes de Petróleo (TEP). Las reservas comprobadas totales cayeron 5% entre 2011 y 2012, tendencia que se mantuvo en los últimos años, acumulando 44% desde 2002, y arrojando, al computar la producción, una relación reservas/producción de 8,9 años. En 2002, este indicador arrojaba 12,3 años (IAE, 2014). En el gráfico 4 se observa la evolución de las reservas de gas natural del país, lo cual es de suma importancia para analizar la matriz energética del país y sus perspectivas futuras.

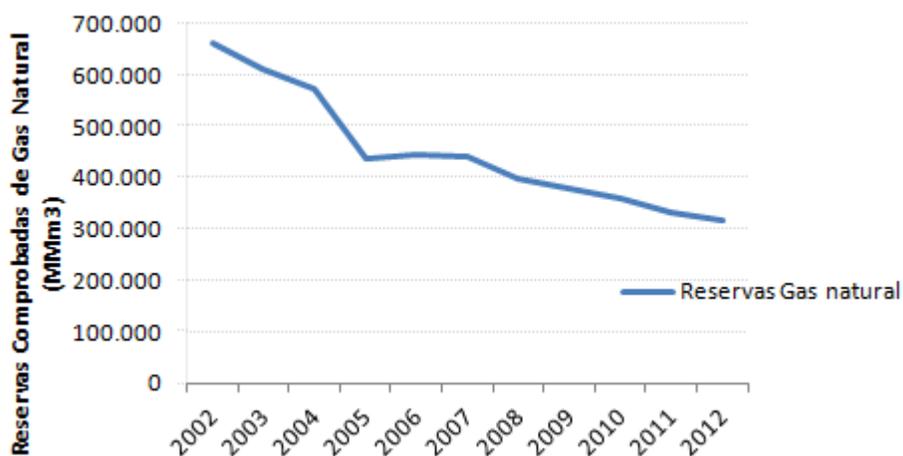


Figura 4: Reservas comprobadas de Gas Natural

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la Secretaría de Energía

3.2.2 La importación de Combustibles

El gráfico 5 indica la cantidad de Gasoil utilizado en generación eléctrica y su procedencia, mayoritariamente de importación. Valorizando las compras del año 2014, tomando en consideración costos y logística, el gasto en Gasoil representó alrededor de 1.200 millones de dólares (CADER, 2015).



Figura 5: Gasoil utilizado para la generación de energía eléctrica

Fuente: Cámara Argentina de Energías Renovables (CADER, 2015)

3.2.3 Políticas y regulación de la generación de energía

La Secretaría de Energía es la encargada de fijar las políticas, mientras que el Ente Nacional Regulador de la Electricidad (ENRE) es el organismo independiente, dentro de la Secretaría de Energía, que tiene la responsabilidad de aplicar el marco regulatorio establecido por la ley 24.065 de 1992. El ENRE tiene a su cargo la regulación y supervisión general del sector bajo control federal. Los organismos reguladores provinciales controlan el resto de las empresas de suministro. El ENRE y los reguladores provinciales fijan las tarifas y supervisan que los agentes de transmisión y distribución regulados cumplan con las normas de seguridad, calidad, técnicas y ambientales. Cammesa es quien administra el mercado eléctrico mayorista, debiendo ocuparse de la operación y despacho de la generación y el cálculo de precios en el mercado *spot*, es decir, es aquel en el que el valor del activo financiero se paga al contado (*precio spot*) en el momento de la entrega. Sus principales funciones también incluyen la operación en tiempo real del sistema eléctrico y la administración de las operaciones comerciales en el mercado eléctrico.

Por otra parte, la empresa Energía Argentina Sociedad Anónima (Enarsa), fue creada en el 2004. Nació como una empresa administrada por el estado nacional de Argentina para la explotación y comercialización de petróleo y gas natural, así como para la generación, transmisión y comercialización de electricidad.

3.2.4 Precios de la energía en Argentina

En enero de 2002 se sancionó la Ley N° 25.561 de emergencia económica, la cual ha tenido sucesivas prórrogas. La más reciente fue aprobada en octubre de 2015 y fijó su vigencia hasta el año 2017. Dicha ley congeló las tarifas de la electricidad y prohibió a las compañías proveedoras su indexación o actualización por cualquier índice de precios. El objetivo inicial de esta norma era, por un lado, reducir el impacto de la devaluación en el costo de vida de los argentinos y, por el otro, estimular la competitividad de la economía, proveyéndole energía barata a la industria. Sin embargo, por medio del Decreto N° 134 de fecha 16 de diciembre de 2015 se declaró la emergencia del Sector Eléctrico Nacional hasta el 31 de diciembre de 2017, en cuyo contexto se instruyó al Ministerio de Energía y Minería a elaborar un programa de acciones necesarias, en relación a los segmentos de generación, transporte y distribución de energía eléctrica de jurisdicción nacional, con el fin de adecuar la calidad y seguridad del suministro eléctrico y garantizar la prestación de los servicios públicos de electricidad en condiciones técnicas y económicamente adecuadas. Este programa incluye la modificación de los cuadros tarifarios que comenzó a implementarse en febrero de 2016.

Según el informe anual de Cammesa de 2015, el precio de la energía, determinado según las Res. SE 240/03, que supone abastecimiento de gas sin límites para todo el parque generador que lo pueda consumir y con un tope de 120 \$/MWh, se mantuvo cerca de dicho tope.

El precio monómico representativo de los costos totales de operación del MEM, incluyendo los cargos de potencia y sus servicios asociados, los sobrecostos debido a la utilización de combustibles, los cargos a la demanda excedente de los grandes usuarios, y los Contratos de Abastecimiento MEM, alcanzó una media del orden de los 654 \$/MWh, frente a los 550 \$/MWh del año anterior.

El precio monómico incluye la energía más la potencia pero no incluye transporte ni distribución. Los distintos componentes del precio monómico varían según el volumen de generación térmica requerido, dependiente a su vez principalmente de la oferta hidroeléctrica, y dada la aplicación de la Res. SE 240/03, del precio del gas y en forma atenuada del valor de los combustibles líquidos dado que su valor se incluye en el precio como sobrecosto (SCTD).

Tabla 1: Composición del precio monómico Año 2015

		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Media
Componente Energía	Precio Energía	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0
	Energía Adicional	4.1	3.7	3.1	3.0	2.4	3.1	2.9	3.3	3.1	3.3	3.6	3.9	3.3
	Sobrecostos de Combustibles	5.2	5.1	5.0	10.7	36.8	103.8	91.0	47.9	33.5	38.6	14.6	16.2	34.0
	Sobrecostos Transitorios de Despacho	230.9	269.3	273.1	214.8	341.6	461.1	441.7	334.2	331.4	351.6	265.3	283.1	316.5
	Cargo Demanda Excedente + Cuentas Brasil + Contratos Abastecimientos MEM	115.0	156.6	159.0	181.3	172.3	165.1	165.5	155.0	164.0	171.6	190.4	225.3	168.4
Componente Potencia + Reserva	Potencia Despachada	6.8	6.6	6.7	6.8	6.5	7.1	7.0	6.7	7.2	6.8	6.8	6.6	6.8
	Potencia Servicios Asociados	2.2	2.5	2.5	2.4	2.5	2.5	2.2	2.4	4.0	3.9	3.4	2.7	2.8
	Potencia Reserva Corto Plazo + Servicios Reserva Instantánea	0.6	0.5	0.5	0.4	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
	Potencia Reserva Mediano Plazo	1.5	1.1	1.0	1.2	1.0	0.9	0.8	1.2	1.1	1.2	1.7	0.8	1.1
Precio Monómico		486.2	565.3	570.9	540.6	683.5	864.3	831.6	671.2	664.8	697.6	606.5	659.1	653.5
Cargos Transporte	Transporte Alta Tensión + Distribución Troncal (Acuerdo)	7.6	8.4	9.7	10.2	14.0	11.8	9.6	1.2	10.9	0.0	43.7	7.2	11.2
	Transporte Alta Tensión	0.8	0.8	0.9	1.0	1.0	0.8	0.7	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0	0.9
	Transporte Distribución Troncal	1.0	1.1	1.1	1.4	1.4	1.1	1.0	1.0	1.2	1.2	1.3	1.3	1.2
	Precio Monómico + Transporte	495.6	575.6	582.5	553.3	700.0	878.0	842.9	674.3	677.8	699.7	652.5	668.6	666.7
Precio Monómico Estacional (Energía + Potencia)	95.3	95.1	95.2	95.6	95.5	95.4	95.5	95.4	95.3	95.2	95.4	95.1	95.3	

Fuente: Cammesa, 2015

Los valores de los “sobrecostos transitorios de despacho” y el “sobrecosto de combustible” representan la incidencia del consumo de combustibles líquidos en el precio final de la energía. Estos son percibidos exclusivamente por los generadores que los utilizan, lo que responde a la necesidad de compensar la tarifa, que se calcula como si todo el sistema térmico consumiera únicamente gas natural. Estos conceptos, junto con el de “energía adicional”, se encuentran asociados al valor de la energía, y con el valor de la potencia puesta a disposición (“adicional de potencia”), componen el “precio monómico”.

En lo que respecta a la demanda estacional, se continuó con la Resolución SE N° 2016/2012, definiéndose un único precio monómico de compra para cada distribuidor, para el total de su demanda sin especificar tipo de agente o banda horaria. El precio monómico estacional anual, representativo de lo recaudado de los agentes distribuidores, fue del orden de 120 \$/MWh. Los distribuidores compran la energía en el MEM para trasladarlo a sus usuarios en forma de tarifa, la cual incluye el transporte y la distribución.

De esta forma, el costo medio para producir un MWh de energía en 2015 fue de \$654 mientras que el precio pagado por las Distribuidoras de 120 \$/MWh, es decir que el déficit a nivel mayorista fue de 534 \$/MWh.

El déficit generado en el Mercado Mayorista por este motivo, pasó de US\$ 165 Millones en 2003 a US\$ 5.255 Millones en 2013, acumulando en el período 2003-2013 cerca de US\$ 26.600 millones. No se incluyen los subsidios destinados a la importación de gas natural, que se encuentran en el orden de los US\$ 6.000 millones anuales adicionales (Ex Secretarios de Energía, 2014).

3.2.5 Energías Renovables

Según el reporte anual 2015 de Cammesa, el 1,9% (2,559 GWh) de la demanda de energía del mercado eléctrico mayorista fue cubierta por energías renovables. Mientras la generación de biodiesel disminuyó considerablemente con respecto al año 2012, la generación de energía a partir de biogás y biomasa, la energía eólica y la solar mostraron leves incrementos hacia el año 2014 que se mantuvieron en el 2015.

Considerando las distintas fuentes de energía, las renovables son aquellas que se producen de forma continua y son inagotables a escala humana, aunque habría que decir que, para fuentes como la biomasa, esto es así siempre que se respeten los ciclos naturales. El sol está en el origen de todas las energías renovables porque su calor provoca en la Tierra las diferencias de presión que dan origen a los vientos, fuente de la energía eólica. El sol ordena el ciclo del agua, causa la evaporación que predispone la formación de nubes y, por tanto, las lluvias. También del sol procede la energía hidráulica. Las plantas se sirven del sol para realizar la fotosíntesis, vivir y crecer; toda esa materia vegetal es la biomasa. Por último, el sol influye directamente en las energías solares, tanto la térmica como la fotovoltaica (Merino, 2012). Otros tipos de energías renovables son la mareomotriz, mareotérmica y la geotérmica.

La energía solar es aquella generada de forma directa por la radiación del sol. Este tipo de energía es útil para regiones que gozan de buena radiación solar pudiendo dividirse en dos: fotovoltaica y solar térmica, con diferentes aplicaciones en cada caso (calefacción, generación de energía eléctrica). Dos formas de energía que han sido utilizadas desde hace muchos años son la energía eólica y la energía hidráulica. El principio básico de la primera es la transformación de la energía cinética del viento en energía mecánica aprovechable. La energía hidráulica utiliza la energía potencial que aparece en alguna etapa del ciclo del agua (Cardozo, et al., 2009).

La única forma de energía renovable que permite almacenar en forma directa la energía solar gracias al proceso de fotosíntesis, es la biomasa. La materia orgánica constituye su reservorio y se denomina "energía de la biomasa". Esta puede ser aprovechada de formas diferentes: a partir de la utilización integral del recurso mediante o a partir de cultivos con fines energéticos. Los cultivos energéticos son recursos vegetales utilizados para la sustitución de combustibles fósiles en diferentes aplicaciones. Se pueden clasificar en leñosos o herbáceos. Mientras los leñosos poseen una utilización muy parecida a los residuos agrícolas, generalmente combustión directa, los herbáceos se utilizan en la producción de biocombustibles. Asimismo, la degradación anaeróbica de la materia orgánica genera biogás, el mismo es una mezcla de metano y dióxido de carbono, que dependiendo de la cantidad del primero, tendrá mayor o menor poder caloríficos (Huerga & Venturelli, 2009). Este documento se centrará en el análisis de la capacidad de producción de este último tipo de energía que aun no se encuentra difundida en el país.

Actualmente, la bioenergía representa un 10% de la matriz energética mundial. La bioenergía está llamada a cumplir un rol junto con otras fuentes no convencionales en el cambio de

una economía basada en los combustibles fósiles a otra basada en un abanico de fuentes. La agricultura, la silvicultura y los residuos desprendidos de ambas serán las principales fuentes de biomasa para elaborar bioenergía en diferentes vectores, como el biogás. Los países industrializados ven en los biocombustibles una manera de diversificar las fuentes de energía, encontrar nuevos mercados para sus productos de origen agropecuario, y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. La bioenergía es la más versátil de las energías renovables, dado que puede servir tanto para la generación de electricidad y calefacción como para la producción de combustible. Esto podría tener un papel significativo en el fortalecimiento de economías locales al encontrar, mediante una planificación adecuada, fórmulas innovadoras para frenar la migración y crear empleo y actividades económicas mediante el uso sustentable de los recursos naturales (Tobares, 2012).

De acuerdo con la Cámara Argentina de Energías Renovables (CADER), la bioenergía, se puede operar con centrales de biomasa de baja potencia de hasta 10 MW con un factor de uso superior al 80% anual. La biomasa distribuida logra, como combustible, un costo por MMBtu muy competitivo frente al Gasoil: mientras que el costo de la biomasa es del orden de los 4 USD/MMBtu, el Gasoil es de 26 USD/MMBtu sin impuestos (723 USD/m³). Aproximadamente, de estos 4 USD/MMBtu, 1,5 USD/MMBtu representa el costo de la biomasa; 1,5 USD/MMBtu, la mano de obra para convertirla en un combustible disponible y 1 USD/MMBtu, el transporte. Además de producir más de 6 veces de ahorro en el costo de combustible, la biomasa provoca un gran impacto socio económico en la región donde se instala.

Este tipo de centrales con pequeñas turbinas de vapor o motores reciprocantes, provistas por empresas que ya se encuentran en el mercado argentino, pueden entrar en funcionamiento en tiempos similares a los de una central térmica diésel y responder a la urgencia del sector con costos muy convenientes (Cámara Argentina de Energías Renovables, 2015).

3.3 El biogás y sus usos

Los aumentos demográficos mundiales han llevado a una creciente demanda de alimentos y productos, intensificando muchas de las producciones y agro-industrias en el continente. Esto ha llevado también a un aumento de los residuos generados por esos sistemas productivos que no han sido tratados y los mismos hoy están generando un terrible impacto ambiental. La falta de normativas en controles sanitarios, o el poco control sobre los mismos, ocasiona grandes pasivos ambientales que la sociedad termina pagando, al mismo tiempo que disminuye la sustentabilidad de dichos sistemas productivos por su mal uso (Casanovas, 2015).

Asimismo, este crecimiento poblacional y desarrollo económico da lugar a mayores demandas de energía que hasta este momento, y particularmente en Argentina, están cubiertas principalmente por energía térmica proveniente de combustibles fósiles. En suma, los problemas energéticos cada vez son más acentuados, ya sea por su desabastecimiento, o por el aumento del precio de las diferentes formas de energía

Se presenta, de esta forma, la necesidad de solucionar estas problemáticas que incluyen las esferas ambientales, energéticas, económicas y sociales.

El biogás aparece como una de las tantas alternativas que permiten dar respuesta a estos problemas. Desde proveer gas a una familia o escuela en el medio rural alejada de las redes de distribución (para cocina, estufas, heladeras, lámparas), hasta grandes plantas de tratamiento de residuos orgánicos que permiten utilizar la fracción orgánica de la basura y generar grandes cantidades de energía, el biogás y las plantas de biodigestión son una alternativa ya exitosa en varios lugares del mundo. A su vez, en muchos casos, dicho proceso genera un segundo producto de alto valor como ser los biofertilizantes, que no solo aportan macro nutrientes a los suelos sino que también aportan materia orgánica, micro nutrientes, minerales, fito hormonas, que mejoran la sustentabilidad de la tierra (Casanovas, 2015).

El biogás es un gas que se genera en medios naturales o en dispositivos diseñados para tal fin, como los biodigestores. Este gas es producido por las reacciones de biodegradación de la materia orgánica mediante la digestión anaeróbica.

La digestión anaeróbica es un proceso biológico degradativo en el cual parte de los materiales orgánicos de un substrato (residuos animales y vegetales), vía la intervención de microorganismos que se desarrollan en ausencia de oxígeno, son convertidos en una mezcla gaseosa de dióxido de carbono y metano con trazas de otros elementos. A esta mezcla gaseosa es a la que llamamos biogás.

Utilizando el proceso de digestión anaeróbica es posible convertir gran cantidad de residuos, residuos vegetales, estiércoles, efluentes de la industria alimentaria y fermentativa, de la industria papelera y de algunas industrias químicas, en subproductos útiles. Los principales productos del proceso de digestión anaerobia, en sistemas de alta carga orgánica y en mezcla completa, son el biogás y un bioabono que consiste en un efluente estabilizado.

El poder calorífico promedio del biogás está entre 4.500 a 5.600 kcal/m³. Si bien es menor que el poder calorífico del gas natural que está entre 8.800 a 10.200 kcal/m³, su producción es totalmente natural y puede ser generado tanto en instalaciones industriales como domésticas (Varnero, 2011).

Existen diversas opciones para la utilización del biogás, dentro de éstas destacan la producción de calor o vapor, generación de electricidad y combustible, las cuales se describen a continuación:

a) Producción de calor o vapor

La producción de energía térmica es el uso más sencillo. Con un sistema pequeño de biogás se puede generar el calor necesario para cocinar o calentar agua. Además, es factible adaptar los quemadores de gas convencionales para operar con biogás.

b) Generación de electricidad o combinación de calor y electricidad

Los sistemas combinados de calor y electricidad se caracterizan por tener mayor eficiencia, que aquellos que sólo producen electricidad o calor. Algunos sistemas combinados producen principalmente calor y la electricidad es secundaria. Otros sistemas producen principalmente electricidad y el calor residual se utiliza para calentar el agua del proceso.

c) Combustible para vehículos

Existen mayores requerimientos de calidad para aquel biogás que desee ser utilizado en vehículos que han sido acondicionados para funcionar con gas natural.

La producción de biogás tiene un papel importante en el control de las emisiones, permitiendo una gestión mejorada de nutrientes, reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y la captura y uso de biogás. El metano (CH_4) es un gas que en la atmósfera terrestre contribuye al efecto invernadero, y es más potente que el dióxido de carbono (CO_2) en un factor de 21 (Comisión Nacional de Energía, 2006).

La aplicación del biogás en el área rural ha sido muy importante, dentro de ella se pueden diferenciar dos campos claramente distintos. En el primero, el objetivo buscado es dar energía, sanidad y fertilizantes orgánicos a los agricultores de zonas marginales o al productor medio de los países con sectores rurales de muy bajos ingresos y difícil acceso a las fuentes convencionales de energía. En este caso, la tecnología desarrollada ha buscado lograr digestores de mínimo costo y mantenimiento fáciles de operar pero con eficiencias pobres y bajos niveles de producción de energía (Hilbert, 2009). El segundo tipo de tecnología está dirigido al sector agrícola e industrial de ingresos medios y altos. El objetivo buscado en este caso es brindar energía y solucionar graves problemas de emisiones. Los digestores de alta eficiencia desarrollados para esta aplicación tienen un mayor costo inicial y poseen sistemas que hacen más complejo su manejo y mantenimiento. Ambos tipos de digestores se encuentran en continua difusión. Los reactores sencillos han tenido una amplia aceptación en China, India, Filipinas y Brasil; debido a que en estos países se ejecutaron importantes planes gubernamentales que impulsaron y apoyaron con asistencia técnica y financiera su empleo. Con respecto a los digestores de alta eficiencia, la mayoría se encuentran instalados en Europa (Hilbert, 2009).

3.4 Aspectos tecnológicos de la producción de biogás

Esta sección describe los principales aspectos tecnológicos de la producción de biogás usando como fuente de información el “Manual para la Producción de Biogás” desarrollado por el INTA. El biogás es una mezcla constituida por metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), hidrógeno en pequeñas proporciones, sulfuro de hidrógeno (SH_2) y nitrógeno (N) (Hilbert, 2009).

Las bacterias metanogénicas se encuentran en el último eslabón de la cadena de microorganismos encargados de digerir la materia orgánica y devolver al medio los elementos

básicos para reiniciar el ciclo. El proceso microbiológico que se encarga de la formación de metano es la metanogénesis (principal proceso para la producción de biogás). Las bacterias productoras de biogás son estrictamente anaeróbicas, por lo tanto no pueden sobrevivir con la presencia de oxígeno en el medio en que se desarrollan. También otras de las características importantes que las identifica es la sensibilidad a los cambios ambientales, por este motivo es necesario un mantenimiento constante de los parámetros básicos como la temperatura, el pH, etc.

A continuación se detallarán las tres etapas para comprender la formación de metano y sus principales características:

- Fase de hidrólisis: Las bacterias toman la materia orgánica con sus largas cadenas de estructuras carbonadas, las rompen y las transforman en cadenas cortas y simples (ácidos orgánicos), las cuales liberan hidrógeno y dióxido de carbono.
- Fase de acidificación: En esta etapa actúan las bacterias acetogénicas y realizan la degradación de los ácidos orgánicos llevándolo al grupo acético $\text{CH}_3\text{-COOH}$, también como en la fase anterior liberan productos como hidrógeno y dióxido de carbono.
- Fase metanogénicas: Las bacterias intervinientes en esta etapa pertenecen al grupo de las achibacterias y poseen características únicas que las diferencian de todo el resto de las bacterias. Las mismas producen metano y dióxido de carbono.

3.4.1 Factores que influyen en la producción de biogás

- Tipo de sustrato: las materias primas fermentables pueden ser excrementos animales y humanos, aguas residuales orgánicas de las industrias (producción de alcohol, procesado de frutas, verduras, lácteos, carnes, y alimentos en general), rastrojo de las cosechas y diferentes tipos de basuras.

En los excrementos animales la degradación dependerá básicamente del tipo de animal y la alimentación que los mismos hayan recibido. En el caso de las aves la cantidad de excrementos producidos por día teniendo en cuenta un peso vivo de 1,5 kgs en promedio es de 0,06 kg de estiércol por día.

- Temperatura del sustrato: Se requiere de una temperatura mínima de 4° a 5° y no se debe pasar los 70° como máximo. Por lo general se realiza una diferenciación entre tres grados de temperatura dependiendo el tipo de bacteria que predomine:

- *Psicrofílicas*: Menos de 20°C
- *Mesofílicas*: Entre 20°C y 40°C
- *Termofílicas*: Más de 40°C

La actividad biológica y la producción de gas aumentan con la temperatura. Con temperaturas de 20°C en adelante por lo general se deberá lograr y mantener el calor mediante energía exterior al proceso lo que hace que se incremente la eficiencia y la producción de biogás pero a su vez aumentan los costos y la complejidad de la tecnología.

- Velocidad de carga volumétrica: Es el volumen de sustrato orgánico cargado diariamente al digestor. Las diferentes formas de expresar este parámetro son las siguientes: Kg de material/día, Kg de materia seca/día; kg de sólidos volátiles/día todos se expresan por metro cúbico de digestor.

- Valor de acidez (pH): Los parámetros normales en el cual actúa el proceso de fermentación se mantienen en valores entre 7 y 8,5.
- Contenido de sólidos: La movilidad de las bacterias metanogénicas dentro del sustrato se ve limitada a medida que el contenido de sólidos aumenta, por este motivo puede verse afectada la eficiencia y la producción de gas. El porcentaje de sólidos óptimos oscila entre 8% y 12%
- Agitación-Mezclado: Al agitar y mezclar la solución se remueven los metabolitos producidos por las bacterias metanogénicas, mezclado del sustrato fresco con la población bacteriana, se evita la formación de costras que se forman dentro del biodigestor, uniformar la densidad bacteriana y evitar la formación de espacios sin actividad biológica aumentando la eficiencia de producción. Como mecanismos de mezclado se pueden mencionar el batido manual o el provocado por la entrada y salida de líquidos, hasta avanzados equipos que poseen agitadores a hélice, recirculadores de sustrato e inyectores de gas.
- Inhibidores: La presencia de metales pesados, antibióticos y detergentes en altas concentraciones inhiben e interrumpen el proceso de fermentación anaeróbica.

3.4.2 Materias primas que influyen en el proceso de producción de biogás

Las diversas materias primas que se pueden utilizar en la fermentación anaeróbica, que produce metano como resultado final, pueden ser residuos orgánicos de origen vegetal, animal, agroindustrial, forestal, doméstico u otros.

Las características bioquímicas que presenten estos residuos deben permitir el desarrollo y la actividad microbiana del sistema anaeróbico. El proceso microbiológico no sólo requiere de fuentes de carbono y nitrógeno sino que también deben estar presentes en un cierto equilibrio otros elementos como azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, molibdeno, zinc, cobalto, selenio, tungsteno y níquel.

Normalmente las sustancias orgánicas como los estiércoles y lodos cloacales presentan estos elementos en proporciones adecuadas. Sin embargo en la digestión de ciertos desechos industriales puede presentarse el caso de ser necesaria la adición de sustancias que liberen los compuestos enumerados.

Los valores tanto de producción como de rendimiento en gas de los estiércoles presentan grandes diferencias. Esto se debe a que existen diversos factores que afectan el proceso. El carbono y el nitrógeno son las principales fuentes de alimentación de las bacterias productoras de biogás. El carbono constituye la fuente de energía y el nitrógeno es utilizado para la formación de nuevas células. En la Tabla 2, Varnero (1991), resume sintéticamente la producción y composición teórica de biogás a partir de diversos compuestos orgánicos.

Es importante mencionar que toda la materia orgánica está compuesta de agua y una fracción sólida llamada sólidos totales (ST). Los sólidos volátiles (SV) son la porción de la materia

orgánica que puede eliminarse o volatilizarse cuando una materia orgánica se quema en un horno mufla a una temperatura de 550°C.

Tabla 2: Producción y composición teórica de biogás en diversos compuestos orgánicos

Compuesto orgánico	Biogás m ³ /kg SV	CH ₄ m ³ /kg ST
Carbohidratos	0,75	0,37
Lípidos	1,44	1,44
Proteínas	0,98	0,49

Fuente: (Varnero, 1991)

Este autor, describe la composición química promedio de los diferentes residuos, como el de los residuos bovinos los cuales contienen un 9,05% de proteínas 3,23% de lípidos y un rango de contenido de carbono que oscila entre 17,4 y 40%. Este análisis fue realizado para los distintos tipos de residuos y así, el autor estima la producción de biogás por tipo de residuo animal. Es posible visualizar estas estimaciones en la Tabla 3.

Tabla 3: Producción de biogás por tipo de residuo animal y por animal

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

Fuente: Varnero, 2011

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

3.4.3 Eficiencia de la producción de biogás

La velocidad de carga orgánica designa al volumen de sustrato orgánico cargado diariamente al digestor mientras que el tiempo de retención es el tiempo medio teórico que permanecen las partículas de líquido en un proceso de tratamiento. Estas variables tienen una relación inversa, dado que a medida que se incrementa la carga volumétrica disminuye el tiempo de retención. El tiempo de retención, junto con la velocidad de carga orgánica determinada por el tipo de sustrato, son los principales parámetros de diseño, definiendo el volumen del digestor. La cantidad de biogás producido por un digestor dependerá, entre otros, de la cantidad de residuo cargado diariamente. Los tiempos habituales de retención se encuentran en el rango de 20 y 55 días y con cargas diarias de 1 a 5 kg de sólidos totales por metro cúbico de digestor. Por lo tanto, cuanto menor sea el tiempo de retención, menor será el tamaño del digestor y también los costos.

En la Tabla 4 se observan las propiedades del biogás en comparación con otras fuentes de energía.

Tabla 4: Energía equivalente (Valor Energético) del Biogás en comparación con otras fuentes

Valores	Biogás*	Gas Natural	Gas Propano	Gas Metano	Hidrog.
Valor Calorífico (Kwh/ m ³)	7.0	10	26	10	3
Densidad (t/m ³)	1.08	0.7	2.01	0.72	0.09
Densidad con respecto al aire	0.81	0.54	1.51	0.55	0.07
Limite de explosión (% de gas en el aire)	6-12	5-15	2-10	5-15	4-80
Temperatura de encendido	687	650	470	650	585
Máxima velocidad de encendido en el aire (m/s)	0.31	0.39	0.42	0.47	0.43
Requerimiento teórico de aire (m ³ /m ³)	6.6	9.5	23.9	9.5	2.4

Fuente: Varnero, 2011

*Composición promedio del biogás: CH₄ (65%)- CO₂

3.4.4 Biodigestores

El biogás se produce en biodigestores, que constituyen unidades donde se presenta el medio y las condiciones óptimas para que se produzcan una serie de procesos biológicos, químicos y físicos que finalizan en la producción de gas metano. Un biodigestor tiene líquido en su

interior que posee ácidos orgánicos y que debe trabajar en condiciones anaeróbicas (Hilbert, 2009).

El biogás puede producirse con diferentes tipos de tecnología, desde biodigestores costosos de alta eficiencia, pensados para sistemas industriales o agropecuarios con grandes cantidades de residuos orgánicos, así como también con biogestores de bajo costo, pensados para satisfacer la demanda de gas de una familia utilizando los desechos domésticos rurales.

Cumpliendo con esto, se pueden encontrar digestores rígidos de mampostería, hechos con hormigón, ladrillo, cemento, etc., o biodigestores hechos en tanques de agua de diferentes capacidades.

Por otro lado existen biodigestores flexibles y más móviles, como ser los que están hechos con membranas plásticas o derivados del petróleo, como ser las de PVC, PDA o EPDM. Este tipo de biodigestores son fácilmente instalables y movibles en el caso de tener que ser transportados y en muchos casos suelen ser más económicos que los biodigestores rígidos, ya que el costo de los materiales es menor y su diseño suele ser alargado, en forma tubular.

Los biodigestores tubulares, tienen la ventaja de que son fácilmente transportables. Además, para su instalación no requieren de importantes maquinarias ni conocimientos específicos de construcción, siendo suficiente con hacer un pozo en la tierra de poca profundidad, o pudiendo en otros casos, realizarse sobre el nivel del suelo con paredes en los laterales para asegurar su aislación térmica.

Estos biodigestores, han tenido gran difusión en distintos lugares del mundo, sobre todo en países asiáticos y en los últimos años se han desarrollado con éxito en países de América Latina como ser el caso de Perú, Nicaragua, Costa Rica, Bolivia, entre otros.

Generalmente, tienen una boca de entrada (alimentación), una o dos de salida del biofertilizante y una salida para el biogás. Se busca que la cámara de alimentación se encuentre por encima del nivel del líquido, de forma que la diferencia de altura, al introducir material nuevo, genere que el mismo ingrese al biodigestor, empujando el material ya “degradado” a la cámara de salida, donde se puede tomar para su aplicación como biofertilizante.

Por lo general se mencionan dos gases principales, el metano y el dióxido de carbono. Sin embargo, son varios los gases que normalmente componen al biogás, entre ellos el hidrógeno, nitrógeno gaseoso, vapores de agua y sulfhídrico. Éste último depende mucho del tipo de sustrato que se utilice, pero aún en bajas concentraciones tiene efectos negativos sobre los metales, generando corrosiones en los mismos y disminuyendo la vida útil de los equipos en donde se utilice el biogás. Existen diferentes alternativas para la eliminación del sulfhídrico del biogás, desde la construcción de filtros caseros con hierro oxidado, hasta filtros biológicos (Grupo IFES, 2015).

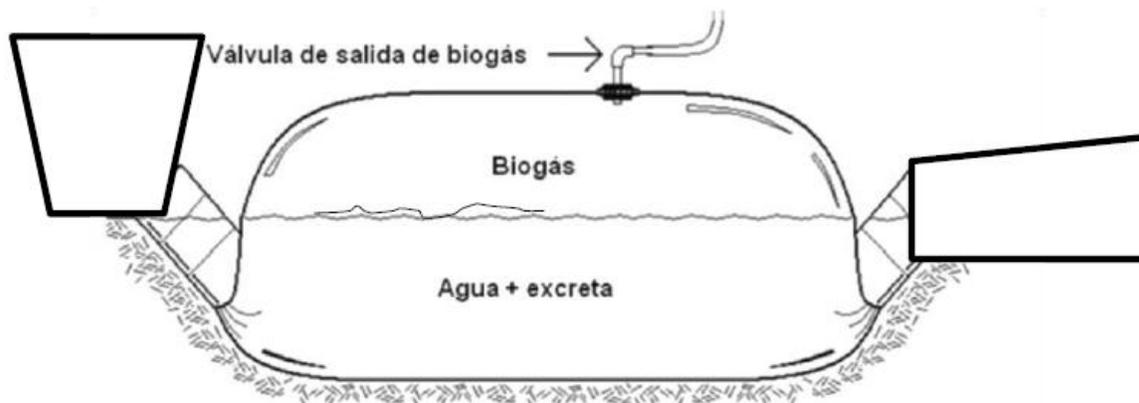


Figura 6: Esquema de un biodigestor tubular

Fuente: Grupo IFES, 2015

Más del 80% de las plantas de biogás difundidas en el mundo pertenecen a dos tipos de diseño, cuyos nombres derivan de los países en los cuales se realizaron los primeros modelos y posteriormente se les dio una difusión masiva. Estos modelos son el chino y el hindú (Hilbert, 2009).

La forma del modelo chino se asemeja a una esfera y el gas se almacena dentro de la campana fija a presión variable, la cual se obtiene desplazando el líquido en digestión hacia una cámara llamada de hidro-presión. Estos digestores se cargan en forma semi-continua realizándose una primera carga con material celulósico y estiércol, además del inóculo correspondiente, hasta un 70% de la capacidad, y luego se continúa cargando como un digestor continuo. Luego de 120 a 180 días se descarga en forma total y se reinicia el ciclo.

El modelo hindú posee una cámara de digestión de forma cilíndrica sobre la cual flota la campana gasométrica, generalmente construida en hierro. La salida del efluente se efectúa por rebalse. Este digestor funciona en forma continua realizándose por lo general una carga diaria o cada dos o tres días. El gas, gracias al gasómetro flotante, se almacena a presión constante y volumen variable. Esta presión de salida puede ser incrementada con la adición de contrapesos. Este digestor demanda un mayor gasto de materiales y la campana gasométrica es en general lo más caro del equipo.

A continuación, se listan otros elementos que componen un biodigestor:

Cámaras de carga

El sustrato generalmente se almacena en una cámara de carga antes de su ingreso. Dependiendo del digestor, esta cámara deberá ser capaz de almacenar un volumen equivalente a dos días de carga. Estará provisto de un sistema de alimentación de agua para realizar las disoluciones del material y algún mecanismo o instrumento de agitación para homogeneizar la carga.

Bombas

Hay dos tipos predominantes de bombas para sustrato fresco: las centrifugas y las de desplazamiento positivo o alternativas. Las bombas centrifugas operan con el principio de instalar un rotor girando rápidamente en una vena fluida, proveen de altos caudales y son de construcción robusta. Por su parte, las bombas de desplazamiento positivo ofrecen múltiples ventajas, también para sustratos muy viscosos, proveen de altos caudales con buenos rendimientos y consumos de energía relativamente bajos.

Cámara de digestión

Sin importar cuál sea el sistema a utilizar, la cámara de digestión deberá cumplir los siguientes requisitos:

- Impermeable al agua y al gas para evitar las pérdidas del líquido en digestión, con el consecuente peligro de contaminación; y la pérdida de gas que disminuirá la eficiencia y provocaría el riesgo de explosiones en las cercanías del digestor.
- Aislante. Las pérdidas de calor deben ser evitadas al máximo, puesto que el mantenimiento de la temperatura de digestión es logrado con el aporte de calor externo y por lo tanto todo ahorro en este sentido redundará en una mayor cantidad de energía neta disponible.
- Mínima relación superficie/volumen, a fin de ahorrar material y mano de obra, como así también reducir la superficie de intercambio de calor.
- Estabilidad estructural, capaz de soportar cargas estáticas y dinámicas; incluyendo un cuidadoso estudio del suelo, especialmente en los que serán construidos bajo tierra, donde se pueda afectar alguna napa freática.

Con relación al dimensionamiento y diseño de la cámara de descarga, el mismo dependerá fundamentalmente del uso que se le dará al efluente, debiendo tener como mínimo un volumen de 2 a 3 veces superior al de descarga diario.

3.4.5 Almacenamiento de biogás

La producción de gas de un digestor anaeróbico es continua a lo largo de las 24 horas del día; no ocurre lo mismo con el consumo que en general está concentrado en una fracción corta de tiempo. Por este motivo será necesario almacenar el gas producido durante las horas en que no se consume. La dispersión del consumo y su intensidad determinará el volumen de almacenamiento requerido.

Según estudios del INTA, para el caso de motores de 1 MW de capacidad, la eficiencia aproximada es del 40 % en la transformación de energía térmica en electricidad. Por lo tanto, si se alimenta un motor generador con biogás que contenga un 50-60 % de metano, y partiendo de una eficiencia del 40 % en la transformación de energía térmica en electricidad, se obtiene un factor de conversión de 2 kWh de electricidad por cada m³ de biogás (1 m³ de biogás * 50% * 40% * 10 kWh) (Hilbert, et al., 2010).

Esta energía puede ser almacenada en diferentes formas: gas (a baja presión, media o alta), agua caliente o energía eléctrica. Debido a que el gas en sí mismo constituye la forma más directa de energía se debe intentar almacenarlo de este modo.

La forma más simple, es almacenar el gas tal cual se obtiene, a baja presión, para ello se utilizan generalmente gasómetros. A fin de reducir el almacenaje necesario, se puede comprimir el gas y almacenarlo a presiones medias y altas. Este tipo de almacenamiento, demanda un gasto extra de energía para comprimir el gas y además se lo debe purificar extrayendo el vapor de agua, el dióxido de carbono y el ácido sulfhídrico. El almacenaje a estas presiones se utiliza generalmente cuando se emplea el gas, como combustible de vehículos, donde el volumen ocupado es importante. La energía también se puede almacenar en forma de calor, calentando agua que se mantiene en un recipiente aislado hasta el momento de su utilización. Uno de sus usos, puede ser el de calentar y mantener la temperatura interna del digestor (Hilbert, 2009).

Existen diferentes aplicaciones para el biogás:

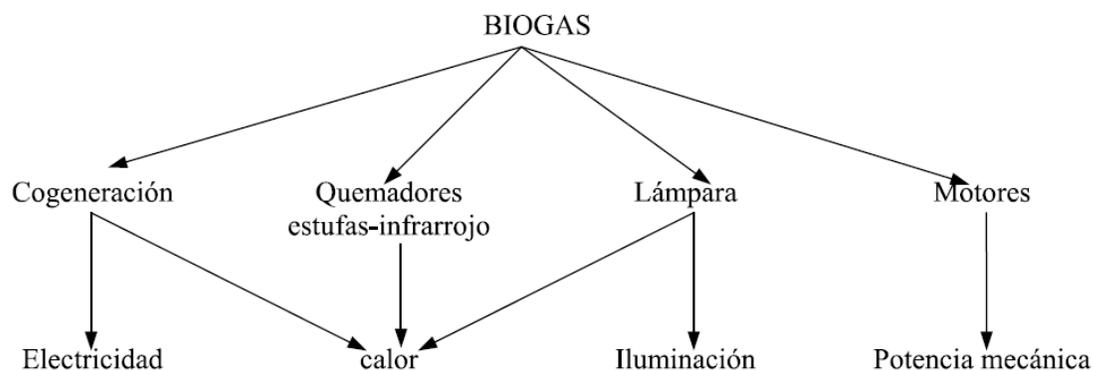


Figura 7: Aplicaciones del biogás

Fuente: (Hilbert, 2009)

Tabla 5: Consumo y rendimiento energético de artefactos

ARTEFACTO	CONSUMO	RENDIMIENTO (%)
Quemador de cocina	300 - 600 l/h	50 - 60
Lámpara a mantilla (60W)	120 - 170 l/h	30 - 50
Heladera de 100 L	-30 - 75 l/h	20 - 30
Motor a gas	0,5 m ³ /kWh o Hph	25 - 30
quemador de 10 kW	2 m ³ /h	80 - 90
Infrarrojo de 200 W	30 l/h	95 - 99
Cogenerador	1 kW elect. 0,5 m ³ /kwh: :2kW térmica	hasta 90

Fuente: (Hilbert, 2009)

Hilbert (2009) señala que las cocinas y calentadores son fácilmente modificables para el uso de biogás, mientras que las heladeras constituyen un interesante campo de aplicación directa del mismo, debido a que tienen un consumo parejo y distribuido a los largo de las 24 horas del día lo cual minimiza la necesidad de almacenaje del gas.

4. Estado del arte

En este capítulo, se analizará la problemática energética del país, como marco teórico que permite vislumbrar la importancia que adquiere el desarrollo de la oferta energética a partir de fuentes de energía renovables. Asimismo se describirá el plan de energías renovables, explicando sus objetivos y logros alcanzados. Finalmente se analizará el uso actual del biogás en Argentina y en el mundo.

4.1 Crisis energética

En diciembre de 2015 asumió el Ministro de Energía y Minería, Juan José Aranguren y declaró la emergencia energética hasta diciembre de 2017, tomando en consideración dos parámetros: la cantidad de cortes y la duración de cada corte.

La potencia de energía instalada en Argentina hacia fin del año 2015 era de 31,815 MW, y la disponible de 25,794 MW.

La evolución de la demanda de energía del mercado eléctrico presenta el perfil que se expone en la figura 8, donde puede apreciarse su casi permanente crecimiento con fuertes

altibajos en la tasa anual. Entre los extremos de la serie de 22 años analizada, el crecimiento expone una tasa de crecimiento del 4.35% acumulativo anual (CADER, 2015).



Figura 8: Evolución de la demanda

Fuente: Cámara Argentina de Energías Renovables (CADER, 2015)

Asimismo, las potencias máximas vislumbran una tendencia creciente constante, incluso por encima de la tasa de crecimiento de la oferta de energía.

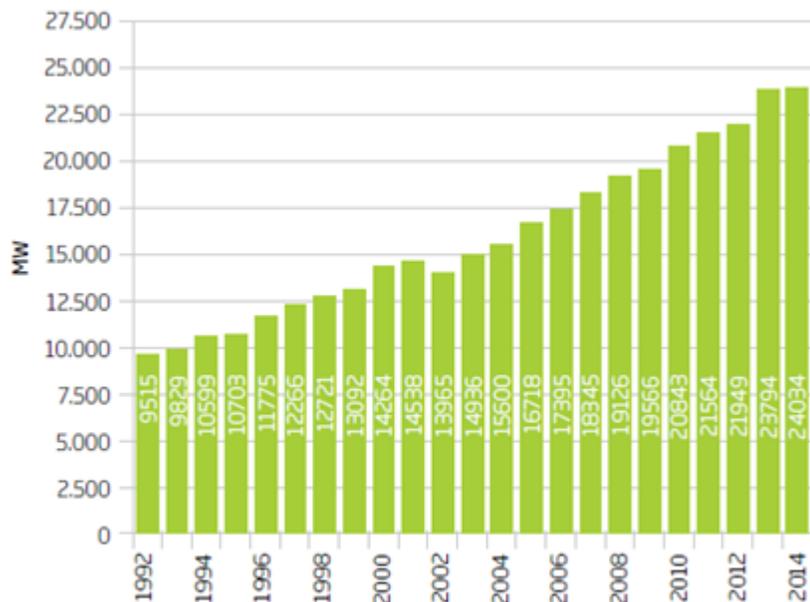


Figura 9: Evolución de la demanda máxima de potencia

Fuente: Cámara Argentina de Energías Renovables (CADER, 2015)

En lo que se refiere a la oferta, la potencia instalada en el mercado presentó el perfil de evolución que indica el gráfico 10. En este punto se destaca el importante aporte de potencia registrado en los últimos años de los generadores del tipo Ciclo Combinado: los equipos de generación térmica convencional de mayor eficiencia con módulos del orden de los 800 MW por cada unidad y rendimientos térmicos del orden del 55% (CADER, 2015).

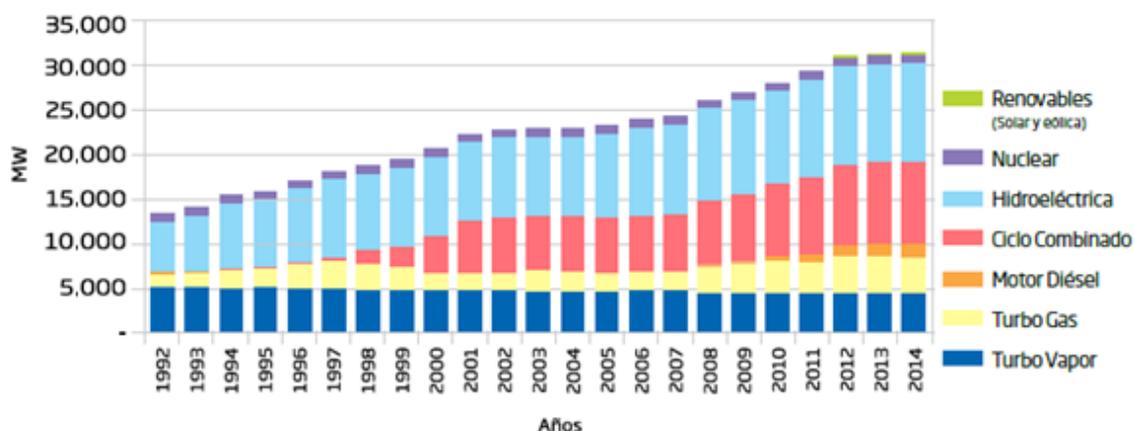


Figura 10: Evolución de la potencia instalada

Fuente: Cámara Argentina de Energías Renovables (CADER, 2015)

El gráfico 10 expone una tasa de crecimiento promedio de la potencia instalada de 3.7% acumulativo anual entre los extremos de la serie, 3.0% en los últimos 10 años y 2.8% en los últimos 5 años. Valores por debajo de las tasas de crecimiento de la potencia máxima registrada, que en términos absolutos equivale a 900 MW para los últimos 5 y 10 años (CADER, 2015).

Como resultado de una evolución de la potencia instalada por debajo del crecimiento de los picos de demanda, en los últimos diez años, Argentina ha experimentado diversas situaciones de cortes e insuficiencia de provisión energética. En enero de 2014 se produjo un récord de demanda de potencia de 24.034 MW, y el país debió aplicar cortes a industrias y barrios del área metropolitana, además de recurrir a importar energía. En este sentido, según el reporte mensual de Cammesa de Enero de 2014, las compras de energía importada fueron 64% mayores que las de diciembre de 2013.

En el seco verano de 2004 cuando se produjo un intenso y llamativo faltante de gas natural. El gobierno reaccionó anunciando el “Plan Energético Nacional 2004-2008” en el cual se destacaron la incorporación al Sistema Argentino de Interconexión de unos 3.692 MW adicionales: 1400 MW adicionales en la hidroeléctrica binacional Yaciretá, 692 MW en la núcleo eléctrica Atucha II y 1600 MW de dos termoeléctricas de ciclo combinado.

El verano seco de 2004 implicaba baja oferta de base hidráulica requiriendo elevada respuesta del parque térmico y un mayor uso del gas natural. Las centrales hidráulicas utilizan para la generación de energía eléctrica la energía potencial del agua embalsada y la posibilidad de generación depende de la existencia de grandes caudales de agua y en consecuencia de precipitaciones. Así, la inestabilidad de la cantidad de este recurso renovable implica que la generación de energía de las centrales hidráulicas sea muy variable.

La crisis causada por la escasez de gas tomó mayor repercusión cuando se empezó a trasladar al sector eléctrico. Algunas usinas térmicas que no habían acumulado fuel oil o no podían cambiar rápidamente hacia el fuel oil sufrían racionamiento al tiempo que la industria manufacturera enfrentaba cortes de gas y de electricidad. A pesar de que la potencia de energía casi no se modificó los siguientes dos años, durante los años 2005 y 2006 no existieron problemas energéticos. Sin embargo, hacia mayo de 2007 el mercado de gas argentino no cerró por segunda vez y la suma de las demandas que venían materializándose no pudieron cumplirse. En ambos casos, las dos demandas, es decir, la de gas y la de electricidad, tuvieron un rol protagónico. Los años 2004 y 2007 se vieron afectados por la escasez de agua, dado que fueron años de bajas lluvias y por lo tanto de alta demanda de gas natural para suplir las consecuencias de la baja hidráulica. Sin embargo, al poner en paralelo ambas crisis se vislumbra que hacia julio de 2007 el país superó los cortes de gas que había experimentado en el 2004.

La generación de energía hidroeléctrica en las represas de los Ríos Neuquén, Limay y Colorado cayó un 60% en julio de 2007 como consecuencia de la fuerte sequía que afectó a la región. Esta disminución se sintió en el mercado eléctrico nacional con un 30,2% menos de disponibilidad del recurso, lo que obligó a incrementar hasta 21,2% la utilización de las centrales térmicas y 14,2% de las nucleares.

En este contexto, el gran despliegue de la demanda de energía para una oferta dependiente de la existencia de suficientes caudales de agua y de un recurso como el gas natural que resulta escaso provocó hacia mayo de 2007 que la oferta de energía no fuese suficiente para cubrir la demanda del país.

Por otro lado, en el segmento de distribución, las empresas prestatarias han cometido incumplimientos contractuales. En este sentido, ante situaciones de elevadas temperaturas, como las presentadas en Diciembre de 2013 y Enero de 2014, con altos picos de demanda, se produjo una sobrecarga de los transformadores y líneas de distribución con cortes de suministro a los usuarios.

La infraestructura de generación eléctrica operó hacia el año 2013 al máximo de su capacidad. En dicho año, se le solicitó a las industrias demandantes de grandes cantidades de energía y potencia, que suspendan transitoriamente actividades para evitar cortes al sistema residencial. La tensión del suministro en baja tensión se encontró debajo de los 220V, afectando la calidad del servicio y se multiplicaron los pedidos de energía a Uruguay (Ex Secretarios de Energía, 2014).

De esta forma, según estimaciones de CADER, para satisfacer la demanda eléctrica hasta el 2021 inclusive, será necesario incorporar 7.000 MW de nueva generación (900 MW anuales más 2.000 MW para recuperar la reserva) y enfrentar en mejores condiciones las altas demandas de baja probabilidad (CADER, 2015).

Tabla 6: Plan de incorporación de potencia (en MW)

CENTRAL		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Vuelta de Obligado	CCC	300							
Atucha II	Nuc	400							
Río Turbio	TV	240							
Guillermo Brown	CCA		550						
Brigadier López	CCC		80						
Guillermo Brown	CCC			300					
Pluspetrol Norte	CCC			150					
Embalse	Nuc R				600				
Loma de la Lata II	CCA					550			
Punta Negra	Hi					50			
Belgrano II	CCA						550		
Loma de la Lata II	CCA						300		
Belgrano II	CCC							300	
Central Puerto	CCA								550
CCA/CCC		300	630	450	0	550	850	300	550
Nuc		400	0	0	600	0	0	0	0
Hi		0	0	0	0	50	0	0	0
TOTAL NOMINAL MW		940	630	450	600	600	850	300	550
TOTAL NOMINAL ACUMULADO MW		940	1570	2020	2620	3220	4070	4370	4920

Información tomada de las modelaciones de CAMMESA

CCA: Ciclo Combinado Abierto CCC: Ciclo Combinado Cerrado Nuc: Nuclear

TV: Turbo Vapor HI: Hidroeléctrica

Fuente: Cámara Argentina de Energías Renovables (CADER, 2015)

4.1.1 El costo de la crisis energética

Las medidas tomadas por el gobierno para garantizar un mayor suministro de gas y de energía no resultaron gratuitas.

Un porcentaje importante de las compras de combustibles al exterior como el gasoil y fueloil que demanda Cammesa tiene por objeto asegurar el funcionamiento de alrededor de veinte centrales térmicas que emplean combustibles fósiles como fuente de energía.

La necesidad de importar gas de Bolivia hacia el año 2007 generó un gran peso en las cuentas fiscales. El gas natural licuado representó el 41% de las importaciones totales de energía, con un costo promedio de 617 USD/m³ y el gasoil 23% con un costo promedio de 818 USD/m³. La importación de gas de Bolivia costó a la Argentina 5,06 USD el millón de BTU mientras que la remuneración promedio del producido en Argentina ascendía a 1,5 USD. Asimismo, el país pagó

100 USD el MW/h por la electricidad comprada a Brasil siendo el precio mayorista del mercado argentino de 22,6 USD el MW/h.

Una parte de estas diferencias se pagaron con impuestos, comprometiendo el superávit fiscal. El subsidio energético ascendió en el año 2007 a alrededor de 12.000 millones de pesos. El monto fue significativo y representó la mitad del superávit fiscal a acumulado entre junio de 2006 y junio de 2007.

A causa de la crisis energética comenzaron a funcionar generadoras menos eficientes y además sustituyeron el gas por combustibles líquidos más caros, por lo cual se incrementó el costo notablemente. Es importante destacar que el costo de un MW/h generado a gas se encontraba entre 30 y 40 pesos en una central eficiente mientras que usando gasoil la misma máquina tenía un costo de 300 dólares, siendo la diferencia absorbida por el Estado. En junio de 2007 Cammesa tuvo que afrontar pagos por 2.200 millones de pesos por importaciones de gasoil y fuel oil para las usinas térmicas que no recibían gas. En suma, las compras de energía a Brasil en mayo de 2007 fueron de \$1450 millones, mientras que la importación de 5 millones de m³ diarios de gas de Bolivia costó 35 millones de dólares al mes. Por otra parte, el Plan Energía Total buscó liberar gas utilizado por las empresas para derivarlo a las casas de familia para evitar cortes. Por este motivo, las compañías recibieron combustibles líquidos al precio de gas significativamente más barato. El Estado se hizo cargo de la diferencia, elevándose el costo a \$990 millones durante los tres meses de vigencia del plan.

Asimismo, según datos de la Secretaría de Energía, de los 8,600 millones de dólares que se gastaron en importaciones de energía en el año 2013, en un 25% correspondieron a gas natural no licuado importado de Bolivia, a un costo de 384 USD/m³ (Secretaría de Energía de la Nación, 2015).

Por otro lado, la inserción de motores diésel correspondientes a los programas de contratación de potencia (distribuida y móviles) llevados a cabo por Energía Argentina S.A. (ENARSA), permite disponer de más de 1.400 MW en generadores mayormente de un módulo de potencia del orden de 600 kW a 1.200 kW por unidad y rendimientos térmicos del orden del 28 al 42% para los diferentes equipos (Dicco, 2014).

Los contratos existentes con estos equipos tienen valores del orden de los 22.500 a 32.500 USD/MW mes por su disponibilidad y costos variables de 10 a 17 USD/MW generado (no incluye el combustible). Las unidades móviles contratadas representan más de 300 MW con valores por cobros por disponibilidad del orden de los 40.000 USD/ mes y un variable promedio que no incluye combustibles de 25 USD/MWh. Estos valores, debido a la baja utilización que presentan los equipos, contribuyen fuertemente en el valor monómico, alcanzando costos altos, del orden de los 447 USD/MWh (transacciones 2013 por contratos) y 278 USD por combustibles, concluyendo en 725 USD para este tipo de generación Diésel (Cámara Argentina de Energías Renovables, 2015).

Los consumos de los diferentes combustibles han registrado una modificación en su participación en los últimos años. La menor disponibilidad de gas natural para los generadores eléctricos obliga a la utilización de combustibles alternativos. El Fuel Oil en las unidades Turbo Vapor y el Gasoil en las Turbina Gas y Ciclo Combinado reemplazan la falta de gas natural durante algunos meses al año. Aunque hay equipos que sólo consumen Gasoil, como son los motores

instalados bajo el programa de generación Diésel Distribuida de ENARSA, cuyo consumo se ha extendido ya a todo el año. En 2014 las relaciones calóricas indican que cerca del 27% del consumo corresponde a los líquidos por déficit de abastecimiento de Gas Natural a los generadores termoeléctricos (Cámara Argentina de Energías Renovables, 2015).

En el año 2014, los valores de consumo registrados alcanzaron 2.7 millones de toneladas de Fuel Oil y casi 1.8 millones de toneladas de Gasoil. De estas cantidades de Fuel Oil y Gasoil, una proporción corresponde a compras en el exterior y otra a producto de origen nacional. En el caso del Gasoil, como expone el gráfico 5, la proporción de importación es extraordinariamente alta (Cámara Argentina de Energías Renovables, 2015).

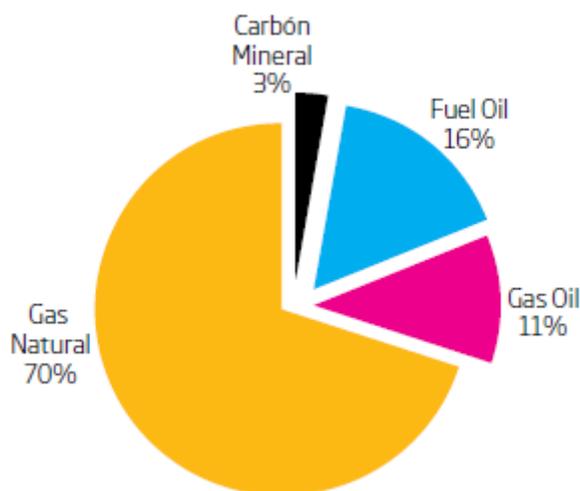


Figura 11: Proporción calórica de consumo de combustibles fósiles 2014

Fuente: Cammesa, 2014

4.2 Plan de Energías Renovables

En diciembre del año 2006 se sancionó la Ley Nacional 26.190, reglamentada a través del decreto 562/2009, que declara de interés nacional la generación de energía eléctrica a partir del uso de fuentes de energía renovables. Sin embargo, de acuerdo al informe anual 2013 de Cammesa, las energías renovables, durante el año 2013 generaron un total de 1602,4 GWh, lo cual significó un 1,3% del total de la demanda de energía del Mercado Eléctrico Mayorista.

Esta ley establece como meta, en su artículo segundo, lograr que la participación de las fuentes de energías renovables en el consumo eléctrico nacional sea del 8% hacia el año 2016. Las tecnologías que se incluyen son las: eólica, mareomotriz, hidráulica hasta 30MW, gases de vertedero, y gases de plantas de depuración y biogás.

El proyecto GENREN fue implementado desde Energía Argentina Sociedad Anónima (ENARSA), y consiste en licitar la compra de energía eléctrica proveniente de fuentes renovables por 1015 (MW) aceptando ofertas con módulos de potencia de hasta 50 MW para ser instalados en todo el país. De acuerdo al programa, ENARSA será quien se ocupe de vender la energía al Mercado Eléctrico mediante contratos a 15 años de plazo. El decreto 562/09 establece una serie de beneficios promocionales para estos emprendimientos que aplican sobre nuevas plantas generadoras, para las ampliaciones y repotenciaciones de plantas existentes. Dichos beneficios son la amortización acelerada del impuesto a las ganancias y la devolución anticipada del IVA por la compra de bienes de capital. A ello se agrega el reconocimiento de un precio para la energía entregada que cubrirá los costos operativos y una tasa razonable de ganancia que se definirá para cada proyecto (Secretaría de Energía de la Nación, 2015).

El objetivo del proyecto es incorporar a la red, potencia eléctrica proveniente de energías renovables, lo que equivale al 3,8% de la potencia total instalada en el MEM. El programa propone contratar una potencia de hasta, 500 MW eólicos, 150 MW térmicos a partir de biocombustibles, 120 MW térmicos a partir de residuos urbanos, 100 MW de biomasa, 60 MW micro turbinas hidroeléctricas, 30 MW geotérmicos, 20 MW solar y 20 MW biogás.

Para cumplir con este objetivo, ENARSA licitó la provisión de la energía eléctrica proveniente de estas fuentes por un plazo de 15 años. La secretaria de energía publicó un informe titulado "Adjudicación de Contratos de Abastecimiento de Energía Eléctrica a Partir de Fuentes Renovables", el cual describe que como resultado del proceso licitatorio, se recibieron ofertas por 1.436,5 MW, superándose en más del 40% la potencia solicitada. A su vez, se ha destacado el carácter distribuido de las Fuentes Renovables de Energía ya que se han presentado proyectos para las provincias de Buenos Aires, Catamarca, Chaco, Chubut, Corrientes, Entre Ríos, Jujuy, Mendoza, Neuquén, Río Negro, San Juan, Santa Cruz y Santa Fe. En la Tabla 4 se listan las ofertas realizadas, clasificadas por fuentes de energía.

Tabla 7: Proyectos de generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables

Item	Fuente	Capacidad (MW)	Ofertas (MW)	Asignados (MW)
1	Eólica	500	1.182	754
2	Biocombustibles	150	155	110
3	Tratamiento residuos	120		
4	Biomasa	100	52	
5	Hidro<30MW	60	11	11
6	Geotérmica	30		
7	Solar térmica	25		
8	Biogás	20	14	
9	Solar fotovoltaica	10	22	20
Total		1015	1.436	895

Fuente: Secretaría de Energía de la Nación, 2010

De esta forma, la licitación contó con 22 empresas oferentes, quienes presentaron 51 proyectos, de los cuales 27 correspondieron a energía eólica (1.182 MW), 7 a térmicas con biocombustible (155,4 MW), 7 a energía solar fotovoltaica (22,2 MW), 5 a pequeños aprovechamientos hidroeléctricos (10,6 MW), 3 a biomasa (52,3 MW) y 2 a biogás (14 MW).

La adjudicación fue por un total de 895 MW de potencia, distribuidos de acuerdo al siguiente detalle: “eólica” 754 MW; “térmica con biocombustibles” 110,4 MW; “pequeños aprovechamientos hidroeléctricos” 10,6 MW; “solar fotovoltaica” 20 MW. El informe “Adjudicación de Contratos de Abastecimiento de Energía Eléctrica a Partir de Fuentes Renovables” describe que se relanzaron nuevos procesos licitatorios y sobre los precios oportunamente presentados en las ofertas se solicitó una mejora que arrojó valores de hasta el 20% de descuento en algunos casos.

Como resultado de estos descuentos, los precios por MWh de energía eléctrica entregados en el punto de conexión, son los siguientes: para los 17 proyectos de Energía Eólica seleccionados desde USD/MWh 121 a USD/MWh 134 (promedio ponderado del conjunto USD/MWh 126,9); para los 4 proyectos Térmicos con Biocombustibles seleccionados desde USD/MWh 258 a USD/MWh 297 (promedio ponderado del conjunto USD/MWh 287,6); para los 5 Pequeños Aprovechamientos Hidroeléctricos seleccionados desde USD/MWh 150 a USD/MWh 180 (promedio ponderado del conjunto USD/MWh 162,4); para los 6 proyectos de Energía Solar Fotovoltaica seleccionados desde USD/MWh 547 a USD/MWh 598 (promedio ponderado del conjunto USD/MWh 571,6). El Programa GENREN establece que, con excepción de los contratos asignados a las Térmicas con Biocombustibles, los precios se mantienen fijos durante los 15 años de vigencia del Contrato (Secretaría de Energía de la Nación, 2010).

Si bien la meta del 8% de Energías renovables para el año 2016, que prevé la Ley N° 26.190, está lejos de ser cumplida, el avance con este programa significa una importante señal para disminuir la dependencia de los combustibles fósiles. También como parte de las negociaciones internacionales en materia de la disminución de las emisiones que contribuyen al cambio climático, es importante que Argentina avance en la incorporación de Energías Renovables, teniendo en cuenta que el sector energético es el que más ha aumentado su participación en el total de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero.

Desde el punto de vista legal y tributario, en el régimen de los recursos naturales y biocombustibles, es interesante destacar la modificación de la Ley 26.190 de Régimen de Fomento Nacional para el Uso de Fuentes Renovables de Energía Destinada a la Producción de Energía Eléctrica. El proyecto, aprobado en el Congreso el 23 de septiembre de 2015, proviene del Senador Marcelo Guinle, y su objetivo es establecer nuevas condiciones promocionales, tanto regulatorias como tributarias, a fin de lograr que en 2017 las energías limpias representen un 8 por ciento de la matriz del consumo de energía eléctrica a partir del uso de fuentes de Energías Renovables previsto en la Ley, y además que se establezca una nueva meta del 20% para el año 2025.

Como resultado de lo realizado en los últimos años en el país se puede sintetizar lo indicado en las tablas 8 y 9.

Tabla 8: Ingresos de proyectos de Energías Renovables

Proyecto	Empresa	Potencia (MW)	Fecha ingreso al sistema
Rawson I (eólica)	Genneia S.A.	50	1/1/2012
Rawson II (eólica)	Genneia S.A.	30	20/1/2012
Cañada Honda (solar)	Energías Sustentables S.A.	2	30/5/2012
Cañada Honda (solar)	Energías Sustentables S.A.	3	30/5/2012
Luján de Cuyo (PAH)	Centrales Térmicas Mendoza S.A.	1	12/1/2013
Chimberal (solar)	Generación Eólica S.A.	2	17/6/2013
Loma Blanca IV (eólica)	Isolux Corsán S.A.	51	30/7/2013

Fuente: Cámara Argentina de Energías Renovables (CADER, 2015)

Tabla 9: Evolución de las Fuentes de Energías Renovables

Fuente	2011	2012	2013	2014	Part
Biodiésel	32,5	170,2	2,2	1,6	0,09
Biomasa	97,6	127,0	133,9	113,7	6,04
Eólica	16,0	348,4	447,0	613,3	32,59
Hidro < 30 MW	876,6	1.069,2	895,8	1.034,5	54,97
Solar	1,76	8,1	15,0	15,7	0,83
Biogás	0,0	35,6	108,5	103	5,47
Total	1.024,4	1.758,5	1.602,4	1.882	100,0
Demanda MEM (GWh)	116.349	121.293	125.166	126.397	
%	0,9	1,4	1,3	1,49	

Fuente: Cámara Argentina de Energías Renovables (CADER, 2015)

De acuerdo con CADER (2015), la inclusión de las Energías Renovables en nuestra matriz energética, basada en los diversos recursos de las diferentes regiones de nuestro país, presenta factibilidad técnica, económica y ambiental con numerosas ventajas que se describen a continuación:

Sostienen el crecimiento

Las proyecciones de demanda eléctrica hacia el 2030 indican que la potencia disponible deberá incrementarse en unos 16.000 MW. Esa potencia puede obtenerse por diversas combinaciones de incorporación de renovables. En la actualidad, existen más de 3.000 MW que podrían generarse con proyectos listos para ser desarrollados en el corto plazo (1-2 años).

Aumentan la seguridad energética

La coyuntura actual es una oportunidad inédita para diversificar la matriz energética incorporando Energías Renovables, las únicas capaces de brindar una respuesta al déficit energético a corto plazo y con costos competitivos.

Son económicas y ahorran divisas

Las Energías Renovables son competitivas frente a los altos costos de generar energía con combustibles fósiles o importar energía eléctrica. En el 2014 se generaron 1.882 GWh por fuentes renovables, lo que implicó un ahorro equivalente a 456.000 m³ de Gasoil importado si se hubieran utilizado para producir esa electricidad. El monto ahorrado en combustible importado sería de unos 300 millones de dólares, un valor próximo a lo invertido para instalar en el país cerca del 4,5% de cobertura de la demanda con renovables.

Desarrollan la industria nacional y generan empleo

A pesar del escaso desarrollo de las Energías Renovables en la Argentina, existe infraestructura industrial ociosa y con capacidad de recibir transferencia de tecnología y certificaciones para proveer parte de los equipos a instalar, en un proceso de consolidación del mercado que facilite las inversiones a largo plazo y que conlleve a la integración de proveedores internacionales con locales, como ha ocurrido en los países que establecieron la integración de la matriz energética con Energías Renovables con plazos determinados. Esto brinda a la industria certeza para invertir en equipamiento y solventar los costos de la transferencia de tecnología y los procesos de certificaciones, para que sus equipos sean homologados con los que se instalan en los mercados desarrollados. Todo esto con financiamiento local que permita realizar los proyectos financiados por el flujo de fondos del mismo. En el año 2010, más de 3,5 millones de personas en el mundo trabajaban directa o indirectamente en el sector. En nuestra región sobresale el caso de Brasil, que cuenta con unos 730.000 empleos vinculados a los biocombustibles y 14.000 empleos en la industria eólica, con 2.500 MW instalados.

Permiten descentralizar la generación y acercarla a los centros de consumo

Una adecuada planificación de la diversificación de la matriz mediante múltiples tecnologías, que posibiliten el aprovechamiento de los recursos renovables, permite descentralizar la generación y acercarla a los centros de consumo, reduciendo de esta manera las pérdidas en transporte y distribución. La generación distribuida en pequeña escala en área urbana, además, genera conciencia en el consumidor influyendo positivamente en el manejo racional de su propia demanda.

Mitigan el cambio climático

El cambio climático es el mayor desafío ambiental de este siglo. Plantea la necesidad de reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y obliga a proyectar una transición energética abandonando los combustibles fósiles.

En este marco, la Argentina debería asumir una meta o acción apropiada de mitigación para el 2020 ante la Convención de Cambio Climático para poder también acceder a las oportunidades financieras y tecnológicas que se están abriendo.

Mejoran la calidad de vida de la población

Las Energías Renovables mejoran la calidad de vida de la población gracias al acceso de la misma a fuentes energéticas limpias, tanto para los conectados como para los no conectados a la red. A su vez, promueven el desarrollo regional de las economías, ya que son promotoras de nuevas inversiones locales y extranjeras que contribuyen con el desarrollo de la infraestructura nacional. Generan sinergias, junto con el sector de ciencia y tecnología nacional e internacional, oportunidades de desarrollo y empleo junto a los sectores públicos y privados.

De acuerdo a CADER (2015), el desafío para pensar la matriz energética de los próximos años es estructurar un plan integral que incluya las diferentes regiones clave para aportar potencia eólica, solar, biomásica y mini-hidráulica. La ejecución de este plan requiere considerar los factores económicos, regulatorios, de abastecimiento, sociales y medioambientales para lograr una inserción eficiente.

4.3 Generación de biogás en Argentina y en el mundo

La fermentación anaeróbica no es un proceso creado por el hombre, sino que ocurre de manera espontánea en la misma naturaleza y forma parte del ciclo biológico de algunos animales. Son los mismos microorganismos que degradan la materia orgánica los que, al alimentarse, generan el biogás. Se puede encontrar este proceso tanto en los denominados gases de los pantanos, que brotan de las aguas estancadas, como en el que produce el tracto digestivo de los rumiantes, y que incluso generan algunas situaciones incómodas entre los humanos. Si bien las primeras menciones que se encuentran de este gas proveniente de la descomposición de materia orgánica se remontan a las investigaciones científicas del siglo XVII, es en 1890 cuando se construye el primer biodigestor en la India, que trató las aguas cloacales y utilizó la energía generada en el alumbrado de los edificios públicos. En el ámbito rural, este proceso alcanzó una gran difusión en la Europa de entreguerras, pero su desarrollo se vio interrumpido ante el fácil acceso a combustibles fósiles como el petróleo. Su investigación y expansión global retomó con ímpetu gracias a la crisis energética de la década de 1970 (Valsecchi, 2007).

Según el ingeniero Jorge Hilbert, director del Instituto de Ingeniería Rural del INTA, se estima que la actividad microbiológica libera a la atmósfera anualmente entre 590 y 880 millones de toneladas de metano, y que con un metro cúbico de biogás (compuesto en un 55-70% por metano) se pueden cocinar tres comidas para una familia de cuatro personas, generar 6,25 kw de electricidad y mantener en funcionamiento un termotanque de 110 litros durante tres horas, una

heladera de 14 pies cúbicos durante 10 horas o una pantalla infrarroja de 3mil calorías durante 3 horas (Valsecchi, 2007).

En India, a comienzos de la década de los 60, se impulsó notablemente la tecnología de producción de biogás a partir de estiércol bovino con el doble propósito del aprovechamiento energético y la obtención de un biofertilizante. Por su parte, en China, desde inicios de la década de los 70, se ha fomentado la construcción de digestores, mediante programas de ámbito nacional (Varnero, 2011).

En la actualidad muchos países utilizan el biogás como fuente de energía renovable. Esta tendencia se observa principalmente en Alemania, y en menor medida en otros países de Europa (Agencia Alemana de Energía, 2013).

En otro marco, en Sudamérica hace muchos años hay un crecimiento constante en lo que refiere a biogás. Se desarrollaron tecnologías y procesos de pequeñas plantas de biogás de bajo costo pensadas para solucionar problemas y mejorar la calidad de vida de la población rural de escasos recursos, principalmente aplicando el modelo taiwanés tubular, o digestores chinos de diferentes materiales. Con una serie de programas, análisis de pre-factibilidad y el apoyo en algunos casos de organismos sin fines de lucro internacionales hoy varios países latinoamericanos cuentan con un Programa Nacional de Biogás brindando facilidades para que una familia pueda acceder a la tecnología. Estos mismos casos exitosos que se replicaron por miles han llevado a un lento, pero aun así importante crecimiento en el tratamiento de pequeños y medianos sistemas productivos agro-industriales con generación de energía, favoreciendo el desarrollo y difusión por la región, incorporando cada vez más tecnología (Casanovas, 2015).

En Argentina se observa un crecimiento en la generación de Energía a partir de Biogás. El informe anual de Cammesa 2013 del mercado eléctrico mayorista expone que mientras que en el año 2011 no se generó energía a partir de biogás, en el año 2012 se generaron 35,6 GWh y en el año 2013 se observó un crecimiento al generarse 108,5 GWh.

Está demás decir que Argentina es un país que por su cultura, formas de producción, economía y extensión, cuenta con diferentes escenarios donde el biogás podría hacer una gran diferencia. El biogás tiene un potencial de expansión en todas sus formas y tecnologías. Sin embargo, todavía existe un largo camino por recorrer, y recién estamos comenzando. Existen casos exitosos aislados donde se buscan objetivos diferentes, desde lagunas de efluentes recubiertas con membranas, hasta la primera planta similar a las que se encuentran en Europa, en la provincia de San Luis (Casanovas, 2015).

Por su parte México obtuvo un Donativo del Fondo Mundial del Medio Ambiente (GEF), cuyo monto global se canalizó al Proyecto de Energía Renovable para la Agricultura (PERA). Estos recursos apuntaban a apoyar el diseño, validación y prueba de equipos para sustentar nuevas aplicaciones de la energía renovable en proyectos agropecuarios.

En Estados Unidos, el apoyo recibido para este tipo de energías por parte del Estado es muy amplio. Distintas medidas son tomadas para promover el uso de energía renovable, las cuales

incluyen incentivos fiscales, subsidios, préstamos, bonificaciones, estímulos a la radicación de industrias y a la producción.

Los incentivos fiscales que promueven el uso de energías renovables fueron creados con el objetivo de facilitar la compra e instalación de sistemas y equipos para la producción de energías renovables. Estos programas son muy variados y tienen como propósito la reducción de costos de las inversiones, es decir, la adquisición de equipos y su instalación. Estos se encuentran implementados a través de créditos impositivos, deducciones, desgravaciones y subsidios. Además se caracterizan porque algunos estados limitan el tiempo durante el cual el beneficio se encuentra disponible, es decir, una vez transcurrido un determinado lapso de tiempo a partir de la instalación o la compra de equipos. La mayoría de los incentivos duran entre cinco y diez años, con la opción de ser renovados (D'Aiello, 2015).

Por otra parte, a finales de 2012, estaban en funcionamiento sólo en Alemania unas 7.500 plantas de biogás con una capacidad total instalada de unos 3.400 MW de potencia eléctrica (13% de la demanda de energía eléctrica de Argentina), las cuales producían alrededor de 23.000 GWh de electricidad y la suministraban a 6,5 millones de hogares. En julio de 2013 había 116 plantas de biometano conectadas a la red alemana de gas natural.

Según la Asociación Alemana de Biogás (German Biogas Association), más de la mitad de la producción energética europea total a partir de biogás es de origen alemán. En 2011, dicha producción se situó en los 10,1 millones de toneladas equivalentes de petróleo a nivel europeo.

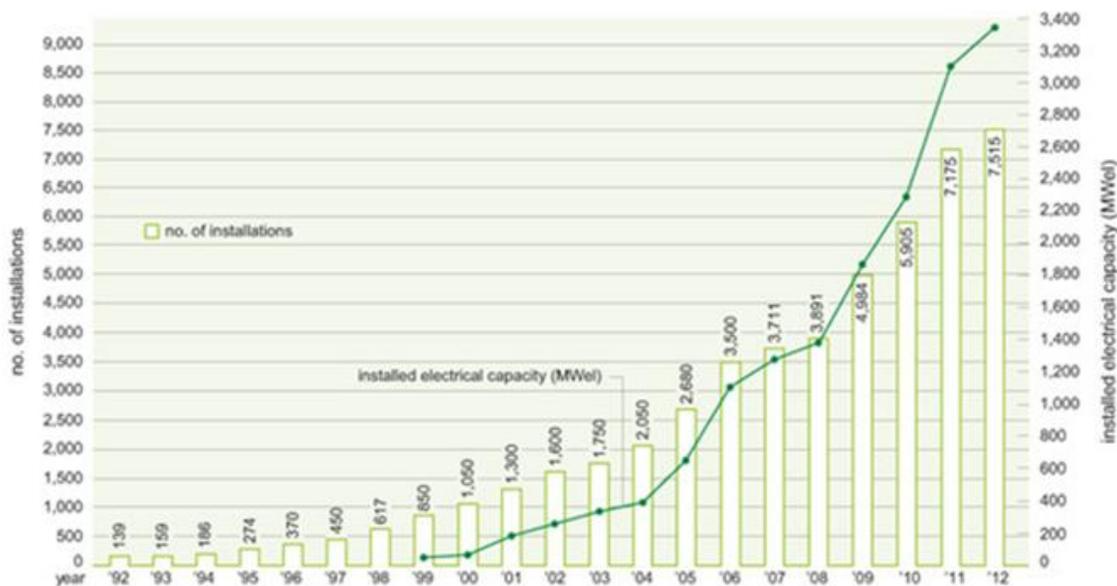


Figura 12: Evolución del número de plantas de biogás en Alemania y su potencia eléctrica total instalada (MW)

Fuente: (Agencia Alemana de Energía, 2013)

En Alemania, la energía eléctrica “verde” debe ser adquirida, por ley, por el Estado, quien se encarga de regular y adquirirla. Sin embargo, esto no ocurre con el biogás el cual se vende solo por contrato a alguna de las empresas de distribución de gas domiciliaria para ser inyectado a la red de gas natural. Existen muchas de estas empresas y el Estado no ejerce gran regulación (D’Aiello, 2015).

Según las metas que se propuso Alemania para el 2020, el 20% de su energía total debe provenir de fuentes renovables. Actualmente, aproximadamente un 8% de su matriz energética es de fuentes renovables, distribuyéndose de la siguiente manera: 25% de biogás, 50% eólica y otro 25% fotovoltaica. Actualmente el gobierno entrega un bono a las plantas de electricidad a partir de biogás, las cuales almacenan el gas y producen entre 3 y 4 MW para inyectar a la red eléctrica en forma puntual. Esto sirve para compensar los altos y bajos de producción eléctrica del sistema de generación eólica y solar (D’Aiello, 2015).

En Europa, la producción de electricidad a partir de biogás aumentó entre 2010 y 2011 un 18,2 por ciento, y en 2011 alcanzó un total de 35,9 TWh. Los mayores productores de biogás en Europa en el año 2010, después de Alemania, fueron el Reino Unido, Italia, Francia y los Países Bajos. En Italia, la obtención de biogás se duplicó entre 2010 y 2011. Este elevado crecimiento se debe sobre todo a la ampliación de las plantas de biogás empleadas en la agricultura (Agencia Alemana de Energía, 2013).

5. Métodos y materiales

Este apartado tiene como objetivo analizar la capacidad que tiene el país de generar biogás y evaluar su viabilidad económica en comparación con otros tipos de generación e incluso con el costo actual de importar energía.

La investigación se realizó a través de visitas de campo, entrevistas físicas y telefónicas, y asimismo, se obtuvieron datos de asociaciones y cámaras que centralizan información.

Se realizó un análisis de unidades productivas que actualmente están produciendo biogás, así como de la capacidad de generación de biogás del país a partir de un relevamiento de los establecimientos con sistemas de confinamiento y sus existencias animales actuales. De esta forma, se calculó el impacto en caso que estas unidades productivas incorporen biodigestores para tratar las excretas de los animales que se desarrollan en los mismos.

Por otra parte, se llevó a cabo un análisis de los beneficios económicos que obtendría el país, incluyendo los ahorros en el consumo de energía importada. Asimismo, se realizó un análisis de rentabilidad de proyectos de distinto nivel tecnológico para producir biogás. En este punto es importante aclarar que las tecnologías para la producción de biogás se clasificaron en “tecnología baja”, “tecnología media” y “tecnología de punta.” Esta clasificación proviene del análisis del relevamiento de los proyectos que actualmente se encuentran produciendo biogás, el cual permite advertir una amplia varianza en la inversión requerida para la puesta en funcionamiento de los distintos proyectos. Sin embargo, si bien se menciona como tecnología, los proyectos de tecnología baja adolecen de los riesgos asociados que en este estudio no son ponderados.

Para este análisis se usaron como datos los actuales precios de la energía y los que deberían existir para que este tipo de energía sea rentable.

6. Resultados

6.2 Políticas de estímulo a la producción de biogás

En Europa los procesos de biodigestión son considerados como una de las mejores formas para revalorizar energéticamente los residuos, con dos directivas fuertes e importantes que los apoyan (Directiva 2009/28/CE de Energías Renovables y Directiva 1991/31/CE sobre rellenos sanitarios). En este sentido, se establecieron metas para la producción de energías renovables para el 2020, en todos los países de la Unión Europea, al tiempo que se desarrollaron fuertes incentivos en primas de las tarifas, certificaciones verdes, licitaciones, etc.; recibiendo una prima, en algunos casos, de hasta 28 centavos de euro el Kw producido. En la actualidad, es un sector que moviliza miles de millones de euros y genera miles de puestos de trabajo, basándose principalmente en plantas de tratamiento cloacales, residuos agro-industriales y cultivos energéticos (Casanovas, 2015).

Por su parte, el Protocolo de Kyoto sentó las bases para trabajar en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero a nivel mundial, como el dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), el dióxido nitroso (N_2O), el hidrofluoro carbono (HFC), el perfluoro carbono (PFC) y el hexafluoruro de azufre (SF_6). Existen varios mecanismos que permiten a los países desarrollados cumplir con los compromisos asumidos. Dentro de las alternativas vigentes, se encuentra el Mecanismo para un Desarrollo Limpio, el cual también actúa como un incentivo para el desarrollo de las energías renovables. De esta forma, todas las compañías que pongan en marcha un proyecto que permita disminuir alguno de los seis gases contemplados por el protocolo, pueden obtener Certificados de Reducción de Emisiones (CER), también llamados bonos de carbono. La empresa puede vender los mismos a compradores públicos o privados de países con compromisos asumidos, a través de un contrato en el cual pactan la compra de los CER o la compra futura de los títulos (Valsecchi, 2007).

Con relación al marco legal argentino, existen dos leyes que afianzaron el crecimiento de la producción de bioenergía, se trata de las Leyes N° 26.093 y la N° 26.190. En este sentido, la Ley N° 26.093 de “Régimen de Regulación y Promoción para la Producción y Uso Sustentables de Biocombustibles”, estableció un régimen especial para incentivar su producción y uso en el país, estableciendo una serie de beneficios promocionales como deducciones y tratamientos impositivos y tributaciones especiales en relación a las vigentes. A través de la norma, se promocionan el biodiesel, el bioetanol y el biogás; estableciéndose la obligatoriedad de la participación del biodiesel y el bioetanol en los combustibles diesel y naftas comercializadas en un porcentaje del 5% a partir de 2010. Por su parte, la Ley N° 26.190 estudiada en la sección 4.2 de este documento,

se propuso alcanzar hasta el 8% del consumo de energía eléctrica nacional en un plazo de diez años.

Dentro del programa nacional de promoción a los biocombustibles, y junto con la Ley N° 26.093 (2006), Argentina logró convertirse en el 2009 en el primer exportador mundial de biodiesel. En 2011, llegó a exportar 3,026 millones de dólares y ser el cuarto productor mundial de biodiesel. Así, la agroindustria en Argentina realizó rápidamente grandes inversiones y alcanzó una capacidad de producción eficaz de biodiesel y bioetanol; no así de biogás aunque sea más eficiente desde el punto de vista energético. Un ejemplo de esta situación muestra que, a partir de la producción de una hectárea cultivada para biocombustibles, un vehículo puede recorrer casi 20,000km con biodiesel, 30.000 con bioetanol y 70.000 con biogás. Alemania por ejemplo, promueve el corte voluntario del GNC con el 10% del BioGNC de biogás. Si a esto le sumamos que en Argentina contamos con una flota de más de 1.700.000 vehículos que funcionan con GNC y que somos después de Pakistán el país con más de 1.800 estaciones de GNC, es razonable pensar en la gran oportunidad que posee el país de ampliar, desarrollar e implementar la tecnología del biogás para incorporarlo a la matriz actual de biocombustibles (Tobares, 2012).

Como actor de la matriz energética nacional, el papel central lo tienen las centrales hidroeléctricas y en el marco de la ley de Fomento Nacional de Energías Renovables 26190/06, la energía eólica ocupa el primer lugar con el 49% de los cupos para 2016. El biogás obtiene un cupo del 14%. La ley de Fomento estima cubrir un 8% de la demanda eléctrica nacional para 2016 con energías renovables, lo cual representa aproximadamente 2.800MWe de potencia eléctrica instalada.

Por su parte, el Proyecto de Energías Renovables en Mercados Rurales (PERMER/ 1999) y el Programa Nacional de Bioenergía intentaron e intentarán posicionar al biogás dentro de los hogares argentinos. Por otro lado, la provincia de Córdoba impulsa el biogás en el sector rural y lanzó junto con la Federación Argentina de Cooperativas Eléctricas y el Programa de Servicios Agrícolas Provinciales (PROSAP), un plan para que más de 3.000 tambos generen propia energía, con el fin de mitigar la contaminación y obtener un fertilizante propio para los cultivos (Tobares, 2012).

En el año 2009, el INTA puso en marcha el Programa Nacional de Bioenergía coordinado por el Ing. Agrónomo Jorge Antonio Hilbert. Este tiene como objetivo general “asegurar el suministro de fuentes y servicios sostenibles, equitativos y asequibles de bioenergía, en apoyo al desarrollo sostenible, la seguridad energética nacional, la reducción de la pobreza, la atenuación del cambio climático y el equilibrio medioambiental en todo el territorio argentino”. Dichas acciones se desarrollan mediante una cartera de proyectos propios, proyectos internacionales y con la participación de redes de cooperación técnica. El programa entiende como bioenergía a la energía derivada de la utilización y aprovechamiento de biomasa de diferentes fuentes como pueden ser materia seca, residuos orgánicos, desechos agroindustriales, etc. (INTA, 2010).

Asimismo, el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación junto con el Ministerio de Planificación, pusieron en marcha un proyecto para la promoción de energía derivada de la biomasa, denominado PROBIOMASA, que cuenta con asistencia técnica 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 a partir de la biomasa a nivel local, provincial y nacional para asegurar una creciente oferta de energía y a su vez promover nuevas oportunidades agroforestales, la cual estimula el desarrollo regional y además ayuda a mitigar el cambio climático (PROBIOMASA, 2014).

6.3 Casos de estudio de la tecnología aplicada al sector Agropecuario

En Argentina, existen diversos proyectos productivos que están implementando estas tecnologías, como así también se están desarrollando estudios para evaluar su potencial. Como parte de este estudio, se intentó explorar diferentes proyectos de producción de biogás, con el fin de analizar los procesos, inversión, motivación y beneficios en cada caso. La metodología utilizada incluyó visitas a establecimientos, entrevistas físicas y telefónicas, y relevamiento de información secundaria. En el anexo 1, se describen los 5 casos de estudio examinados.

Se analizaron los siguientes casos de estudio de Argentina: Bioeléctrica, Oil Fox, Cabañas Argentinas SA y diversos proyectos llevados a cabo por Grupo IFES (Innovaciones para un Futuro Energético Sustentable); mientras que de Brasil se analizó el Establecimiento Frank Anna.

En los distintos casos se buscó analizar las motivaciones, la capacidad de producción, los beneficios y la inversión. Dentro de las motivaciones para emprender este tipo de tecnología, se encuentran la necesidad de tratar los efluentes de los sistemas de confinamiento, advertir un mercado nuevo que se abría en el mundo a través de la bioenergía, darle un mercado al maíz producido para mantener la práctica sustentable de rotación de cultivo especialmente para la soja (principal cultivo de Argentina), y participar en proyectos de extensión hacia la sociedad relacionados con energías renovables y cuidado del ambiente.

Entre los beneficios mencionados, se destacaron la captura y quema de los gases que emanan de los desechos de los animales de la producción lechera hacia la atmósfera, y la generación de energía con diferentes destinos (refrigeración y secado de granos en época de cosecha, gas para la cocina, calefactor, combustible para el auto y el tractor). Se subrayó que el abono que queda en el biodigestor no solo es más líquido, y por lo tanto, más fácil de aplicar a los cultivos, sino que también es un fertilizante más sano.

Hugo García, representante de Cabañas Argentinas del Sol S.A, comentó que “es un sistema que produce energía, modifica los desechos orgánicos y los transforma en fertilizantes de calidad, mejora las condiciones higiénicas de un criadero, contribuye a mantener protegidos suelo, agua, aire y vegetación, genera beneficios económicos a causa de la sustitución de energía y fertilizantes, del aumento de los ingresos y del incremento de la producción agrícola-ganadera. Utiliza un recurso que tiene un alto poder contaminante si lo dejamos a la intemperie y lo convierte en una fuente de energía renovable y limpia”.

El análisis de los casos permite advertir que la inversión es variable, lo cual también permite concluir que esta tecnología se adapta a distintos tipos de situaciones y posibilidades de financiamiento. Manuel Ron, socio fundador de Bioeléctrica, una empresa formada por empresarios agropecuarios innovadores, explicó que han construido una planta modelo, con un costo de 6 millones de dólares. La misma tiene una capacidad de producción de 1MWh de energía

eléctrica y 1 MWh de energía Térmica, y 15. 200 toneladas anuales de biofertilizante. Sin embargo, su plan es fomentar el desarrollo de 60 plantas para poder suministrar la energía generada a la red, ya que según Ron ser operador en el mercado eléctrico mayorista con solo 1MW es más difícil.

Por su parte, Guido Casanovas, socio fundador de Grupo IFES, trabaja en proyectos que involucran distintas tecnologías y al momento de hablar de costos destaca que son muy variables, dependiendo del objetivo de la planta y de la zona, entre otros factores. Sin embargo, la tabla 10 describe estimativamente la inversión requerida para distintos tipos de tecnología y capacidades de producción de acuerdo a lo expuesto por Casanovas.

Tabla 10: Proyectos que aplican distintos niveles tecnológicos

	Tecnología baja	Duggan	Tecnología media	Tecnología de punta
Utilidad	4 vacas	Granja 6 madres cerdo	320 madres cerdo ciclo completo	30 toneladas por día FORSU (*)
Inversión	1.000-1.500 USD	4300 USD	250.000 USD	2.5 millones USD
Biogás	Suficiente para cocinar	20-30m ³ biogás/día	(*1) Grupo electrógeno de 40 kwh	(*1) Grupos electrógenos 300-400 kwh
Tamaño Biodigestor	10 m ³	30 m ³	1.000 m ³	2.100 m ³
Fertilizantes	110 m ³ anuales	330 m ³	7.000 m ³ anuales	20.000 m ³ anuales
Carga	200-300 litros día	2000 litros semanales	25-30 m ³ /día	55-60 m ³ /día
%MS	03-05	03	05-08	08-12
Tiempo de Retención	50-60	60	35-50	30-35
(*) FORSU: Fracción Orgánica de Residuos Sólidos Urbanos				
(*1) Funcionan 8.000 horas anuales				

Fuente: Elaboración propia a partir de información suministrada por Grupo IFES

Sin embargo, Jorge Kaloustian, socio fundador de Oil Fox, destacó que ellos desarrollaron una tecnología que cubre esta amplia brecha de tecnología y costo. El mismo comentó que tuvieron que desarrollar una tecnología propia, ya que no había una tecnología que pudiera ser escalada. De esta forma, empezaron a estudiar un diseño propio de un biodigestor. Este digestor es una mezcla de las tecnologías hindú y china adaptado de manera tal de hacerlo modular. De la misma forma, a raíz de no poder acceder a una oferta de generadores en Argentina que funcionen a biogás, incursionaron en el uso de motores de vehículos a gas modificados para generar energía eléctrica. Jorge Kaloustian, comentó que la inversión para un establecimiento de 25 a 30 bovinos (se estima media tonelada de estiércol diario), se encuentra en el rango de 20,000 a 30,000 dólares, incluyendo digestor, gasómetro, generador, bombas y válvulas, y es una tecnología que puede ser escalada hasta 100MW.

De esta forma, del análisis de los diversos casos, es posible concluir que el biogás puede ser producido con biodigestores de bajo costo que buscan entre otras cosas satisfacer las necesidades energéticas de las poblaciones rurales al menor costo posible; como así también a través de grandes obras de infraestructura con grandes potencialidades de producción de energía térmica y eléctrica. Todos los proyectos han alcanzado grandes beneficios ambientales, como

tratamiento de efluentes y fertilización de suelos, a la vez que generaron ingresos adicionales y nuevos mercados.

6.4 Descripción de los sistemas de confinamiento en Argentina

Tradicionalmente, la producción ganadera se ha desarrollado en nuestro país sobre planteos productivos extensivos. Sin embargo, en las dos últimas décadas, el avance territorial de la frontera agrícola debido a la expansión de los cultivos extensivos en la Región Pampeana, ha llevado a que la ganadería, de menor rentabilidad relativa, haya cedido las mejores tierras, circunscribiendo su desarrollo a superficies más reducidas y en campos de menor calidad de suelos. Ello ha significado la puesta en marcha de un proceso de re localización de la ganadería, especialmente en la etapa de recría y terminación final (Robert, et al., 2009).

Un sistema de confinamiento, sistema de engorde a corral o feedlot, es un lugar físico, predio o establecimiento, especialmente acondicionado para recibir y alojar animales que serán alimentados intensivamente a través del suministro de distintas raciones formuladas, sin permitir el acceso a pastoreo directo y voluntario, con el objetivo de lograr la mayor producción de carne en cualquier etapa de desarrollo de los animales (recría, engorde o terminación). Excluye como tal los modelos que teniendo como base la alimentación a pastos suplementan parcial y/o temporalmente a la invernada.

El engorde en corrales se realiza en Argentina desde hace 20 años como una alternativa de producción de carne bovina con diversos objetivos. En algunos casos, es utilizado para convertir granos a carne si económicamente la conversión es factible, y en otros se lo incluye en el conjunto del sistema de producción para liberar lotes, eliminar cultivos forrajeros de las rotaciones de suelos, incrementar la carga y cantidad de animales, asegurar la terminación y la salida, la edad a faena, manejar flujos financieros, diversificar la producción, etc. Estos modelos combinados de un emprendimiento mayor, que involucran recursos propios de la empresa (granos, subproductos y animales), y estrategias comerciales y financieras son los que han encontrado un espacio en el sector y están remodelando la ganadería argentina (Pordomingo, 2013).

La alimentación de bovinos a corral en Argentina se caracteriza por ser de estructuras básicas y de baja inversión, de escala pequeña (pocos animales) y de características estacionales (preferentemente de invierno y primavera). Geográficamente han proliferado los engordes a corral en la región pampeana, con expansión hacia las regiones extra-pampeanas, en particular el noroeste argentino, siguiendo la expansión de la producción de granos y de sub-productos. El feedlot se ha adecuado a la demanda para el mercado interno por lo que genera animales livianos, de bajo nivel de engrasamiento (comparado con los generados en otros países que producen para mercados globales). Con las características propias, los encierres de Argentina se encuentran en las primeras etapas de su desarrollo.

En Argentina, el mercado de vaquillona de feedlot exige animales jóvenes que ronda en los 300 a 350 kg de peso vivo. Por su parte, la conversión de alimento a peso vivo es similar en terneros machos o hembras, pero es inferior en la vaquillonas, comparadas con novillos a igual edad. La vaquillona incrementa antes que el novillo la deposición de grasa, por lo que ante una

misma dieta y nivel de consumo, su ritmo de aumento de peso es menor pero el grado de terminación (cobertura de grasa) es mayor. En evaluaciones experimentales de engordes en el contexto argentino, las vaquillonas alcanzan 30 días antes el engrasamiento de terminación deseado por el mercado y con 50 kg menos de peso que novillos en similares esquemas de alimentación.

Por otro lado, Argentina en los últimos años tuvo un crecimiento exponencial en la producción de carne aviar, estimulado por los avances tecnológicos en la producción y el crecimiento de la demanda interna. Asimismo, la producción porcina ha evolucionado de sistemas de campo abierto hacia sistemas de confinamiento. Los avances tecnológicos están basados en la genética, la alimentación, la sanidad y los sistemas de manejo integrado de cerdos y aves en grandes concentraciones. “Hoy las aves híbridas transforman alimento en carne en una proporción de 2 a 1, en un ciclo de 50 días para transformar un pollito de 40 gramos salido del cascarón en un pollo de 2 kilos” (De las Carreras, et al., 2010).

La actividad avícola en Argentina se desarrolla con un sistema integrado a partir del cual la industria faenadora es propietaria de las reproductoras y la planta de incubación y contrata el servicio de engorde a otra empresa, denominada integrador. El sistema se basa en la entrega por parte de la industria de los pollitos bebés al integrador, que se encarga de la cría del ave aportando las instalaciones (galpones, tanques, calefacción, iluminación y mano de obra). El crecimiento de esta actividad productiva genera también una cantidad creciente de residuos y desechos que está relacionada principalmente con la cama avícola. La cama avícola es el lugar donde habitan las aves las cuales pueden estar compuestas por cáscara de maní, arroz, viruta y estiércol de los mismos animales. Estos desechos son biológicos y en la mayoría de los casos no son aprovechados eficientemente por los productores, sino que se contrata a una empresa para que efectúe el retiro. Estos residuos son luego utilizados para la fertilización en lotes agrícolas y los pollos muertos se acumulan en un compost (D’Aiello, 2015).

La ubicación del sitio y el posterior diseño de las instalaciones requieren de varias definiciones previas que en primer lugar involucran a la escala (cantidad de animales) y en segundo lugar a la hidrología de lugar y sus eventuales externalidades (efectos posibles sobre el agua, el aire y aspectos sociales o culturales; ej. proximidad a centros urbanos, paisajes, etc.). El sitio debe permitir la ubicación del sistema de contención y tratamiento de efluentes. Se debe contar con espacios para la construcción de los canales colectores y las lagunas de decantación, evaporación y almacenamiento de efluentes, y de sectores para el apilado del estiércol. Sería conveniente que el sitio ofrezca una superficie adicional para utilizar los efluentes líquidos recolectados en riego (por gravedad o por bombeo). El área para riego deberá contar con un tamaño mínimo de acuerdo a la escala del feedlot y las condiciones ambientales y edáficas. Entre los aspectos centrales a tener en cuenta para la ubicación y diseño de las instalaciones se deben considerar: a) el régimen hídrico, la profundidad a la primera napa, la textura del suelo y la topografía de la región, b) proximidad a recursos hídricos superficiales y áreas sensibles, y c) incidencia de los vientos (Pordomingo, 2013).

Los sistemas e instalaciones son diversos. En lugares con poco espacio y proximidad a áreas pobladas o de alta fragilidad ambiental, los corrales se diseñan dentro de galpones, con pisos de cemento acanalados y recolección de líquidos sub-superficial con lavado diario, y con

recolección en piletas para su tratamiento y digestión. Estos planteos asignan entre 3 y 4 m² por animal y requieren de cama de paja, cuya remoción es semanal. El costo y características de esos sistemas los hace poco competitivos en Argentina. Como alternativa, los diseños utilizados son de menor infraestructura y se basan en pisos de tierra compactada y mayor superficie por animal, localizados generalmente en ambientes más secos.

El manejo de efluentes líquidos y estiércol requiere del diseño de estructuras de captura o concentración, recolección, procesamiento y reúso o dispersión de las excretas. La información sobre la escala del feedlot (cantidad de animales a contener) y sobre las características topográficas, edáficas, hidrológicas y climáticas del sitio constituye la base del diseño. El objetivo debe ser la contención y manejo de los efluentes líquidos y sólidos para reducir al mínimo los escapes al medio y el proceso debería iniciarse con la estimación de los volúmenes a generar y consecuentemente a contener, tanto en líquidos como en sólidos (Pordomingo, 2004).

La estimación de la producción de heces está sujeta a las variaciones debidas al balance de nutrientes en función de los requerimientos del animal, de la digestibilidad y del consumo de alimento y agua, pero el factor de mayor incidencia es el peso vivo (PV, kg) (NSW Agriculture, 1998).

Con la mayor permanencia promedio de las excretas en el corral se incrementan las emisiones de potenciales contaminantes del aire, del suelo y el agua. Aproximadamente la mitad del nitrógeno y 2/3 del potasio contenido en los excrementos se encuentra en la fracción líquida. El fósforo excretado se encuentra casi en su totalidad en la excreta sólida. En ese contexto, la pérdida de los líquidos reduce el valor del excremento y expone el sitio a la degradación. Aunque las pérdidas por volatilización pueden ser significativas en algunos casos, las de lixiviación y escurrimiento constituyen las más relevantes por el riesgo de contaminación localizada de aguas.

Con relación a las emisiones de gases de efecto invernadero, existen tres categorías principales de fuentes dentro del sector Ganadería: la emisión de metano procedente de la fermentación entérica, la emisión de óxido nitroso directo del suelo procedente del nitrógeno aportado por el estiércol de los animales que se mantienen sobre praderas y pastizales, y la emisión de óxido nitroso indirecto de los suelos a partir del estiércol de los animales (Universidad de Buenos Aires, 2008).

La problemática ambiental es siempre la principal preocupación de los criaderos de animales, no solo por los trastornos que se producen dentro del establecimiento, sino porque las zonas aledañas que hace tiempo eran rurales o suburbanas, hoy están urbanizadas o en pleno desarrollo residencial. Asimismo, es importante mencionar que la mayor proporción de los establecimientos están ubicados en la región centro o pampeana, concordando a su vez, con la ubicación geográfica donde están instaladas las plantas de faena y los grandes centros urbanos de consumo (Robert, et al., 2009).

A partir del año 2001, el SENASA estableció las condiciones y requisitos para el funcionamiento de las explotaciones de engorde de bovinos a corral, momento a partir del cual, empieza a evidenciarse la dinámica de la actividad como esquema de producción de carne, aunque las estadísticas comenzaron a reflejar la dinámica a partir del año 2006/2007 en razón del

ordenamiento del sistema informático que realizó el SENASA. Para el año 2007, se registraron un total de 1.196 establecimientos; para el año 2008, 1.626 establecimientos y en el 2009 se llevan registrados unos 1.890 13 establecimientos de engorde a corral; se trata, como se desprende de las cifras de una actividad en franco ascenso (Pordomingo, 2004).

6.4.1 Estimación del potencial de producción de biogás a partir de sistemas de confinamiento

Con el fin de cuantificar la capacidad de producción de biogás del país a partir de excretas de animales en sistemas de confinamiento, esta sección pretende cuantificar los establecimientos, así como el número de animales que actualmente se desarrollan en los mismos. El análisis se basa en información suministrada por SENASA sobre establecimientos para bovinos, aves y porcinos. La capacidad de producción de biogás se realiza mediante un cálculo teórico usando como dato el volumen de excretas animales y las conversiones a biogás expuestas por Varnero (2011).

Establecimientos bovinos

En la figura 13 es posible observar la evolución de los ingresos y egresos bovinos para el periodo 2008-2013, destacándose un mayor movimiento de bovinos durante el año 2009. Mientras que los egresos durante el periodo 2011-2013 describen un comportamiento estable, los ingresos muestran mayor variabilidad (SENASA, 2015).



Figura 13: Ingresos y Egresos bovinos para el periodo 2008-2013

Fuente: SENASA, 2015

Resulta relevante para los fines de este documento, conocer la evolución de las existencias a lo largo del año. De esta forma, en la figura 14 es posible observar picos de mayor concentración de existencias durante los meses de junio, julio y agosto, descendiendo las mismas hacia inicios y finales del año. Asimismo, el promedio mensual de existencias muestra una evolución decreciente entre los años 2009 y 2011, manteniéndose constante a partir de esa fecha, y ubicándose en todos los casos por encima del millón y cien mil unidades.

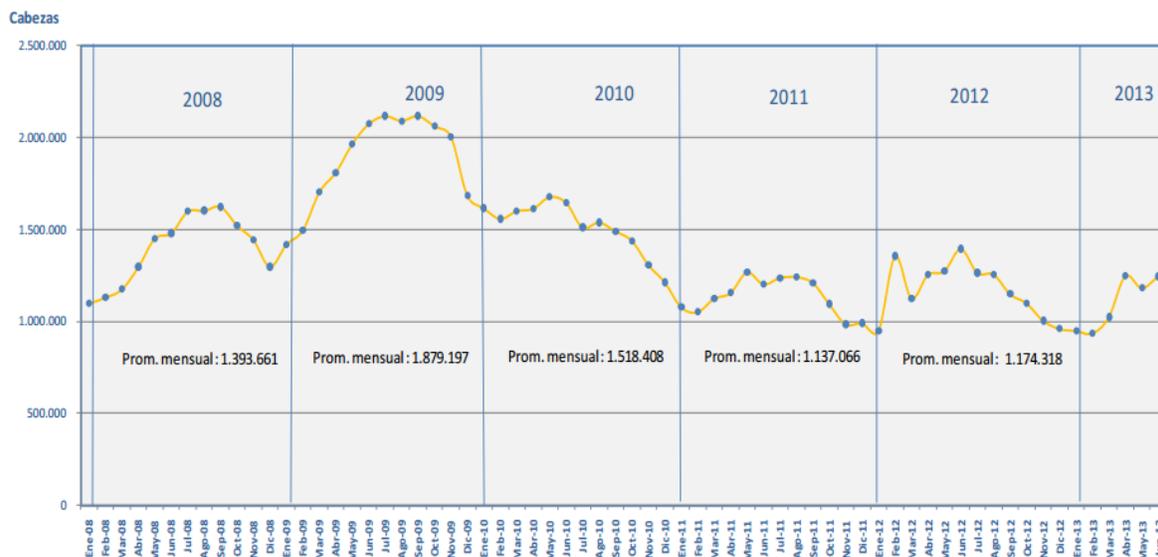


Figura 14: Evolución de las existencias bovinas en sistemas de confinamiento
Fuente: SENASA, 2015

En el mes de Junio del año 2013, la Dirección Nacional de Sanidad Animal dio a conocer un informe que presentó un análisis descriptivo con estadísticas correspondientes al relevamiento de datos hasta el mes de enero de 2011, sobre las características consideradas de mayor importancia acerca de los establecimientos bovinos de engorde a corral, tomando como base los datos del Sistema de Gestión Sanitaria (SGS) y el Sistema Integrado de Gestión de Sanidad Animal (SiGSA) del Senasa (SENASA, 2013). Del informe se desprende que hacia el año 2013 existían en Argentina 1.679 establecimientos bovinos con un total de 1.245.437 existencias.

Tabla 11: Estratificación de establecimientos de engorde a corral (bovinos) en Junio de 2013

Bovinos por Establecimiento	Establecimientos	Existencias
Hasta 500	1.153	139.672
Entre 501 y 1000	219	157.695
Entre 1.001 y 2.500	200	305.872
Entre 2.501 y 5.000	68	233.019
Entre 5.001 y 10.000	28	185.870
Más de 10.000	11	223.309
Totales	1.679	1.245.437

Fuente: SENASA, 2013

La figura 15 permite advertir que la distribución de bovinos se concentra principalmente en las provincias de Buenos Aires, Santa Fe y Córdoba.

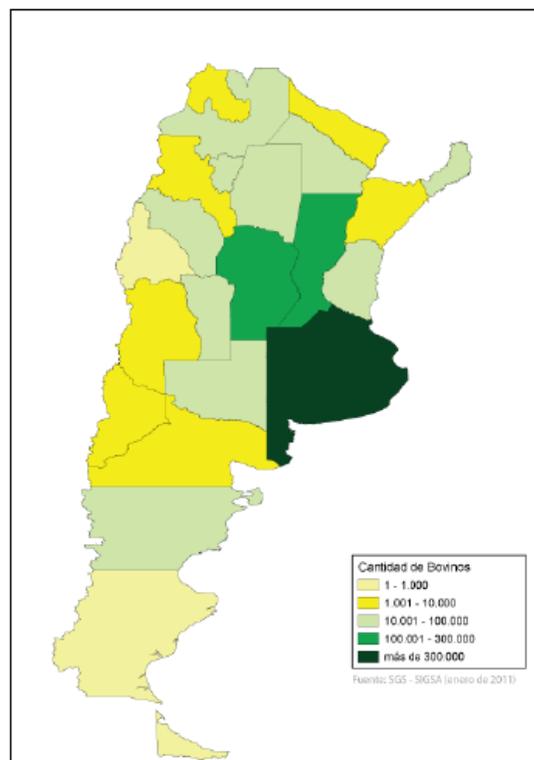


Figura 15: Engorde a corral de bovinos por provincia

Establecimientos con Avicultura

En el transcurso del año 2014, la faena nacional de aves en establecimientos con habilitación de SENASA, alcanzó 727.8 millones, 0.6 % menos que en 2013 (SENASA, 2015). El gráfico 16 ilustra el número de granjas avícolas por tipo de actividad.

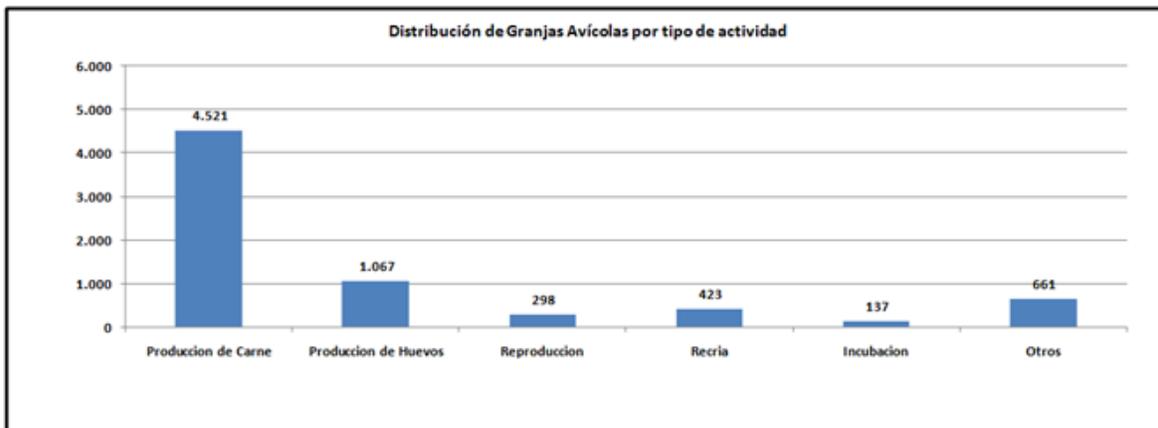


Figura 16: Distribución de granjas avícolas por tipo de actividad

Fuente: SENASA, 2015

Establecimientos porcinos

De los 76.305 establecimientos porcinos registrados por SENASA hacia el año 2015, 59.897 contenían hasta 10 porcinos. El total de porcinos ascendía a 4.726.245, distribuidos homogéneamente en establecimientos de diverso tamaño, pero concentrándose principalmente en establecimientos de entre 11 y 50 animales.

Tabla 12: Estratificación de establecimientos con existencias porcinas

Estratificación de establecimientos con existencias porcinas según la cantidad de cerdas - Marzo 2015				
Porcinos por Establecimiento	Establecimientos	Cantidad de UP	Cerdas	Total Porcinos
Hasta 10	59.897	66.524	212.109	935.129
Entre 11 y 50	13.412	21.330	310.291	1.271.916
Entre 51 y 100	1.989	3.972	140.214	667.255
Entre 101 y 500	910	2.067	168.965	956.793
Mas de 500	97	381	114.716	895.152
Total	76.305	94.274	946.295	4.726.245

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SENASA (SENASA, 2015)

Estimación de la capacidad de producción de biogás

En la sección 3.4 de este documento se presentaron las conversiones teóricas expuestas por Varnero (2011) sobre producción de biogás por tipo de residuo animal. Las mismas se integran en el cuadro 13, el cual describe la cantidad de existencias para cada tipo de especie animal, analizadas previamente. Cabe mencionar que, si bien las existencias bovinas no se mantienen fijas a lo largo del año, para los fines de esta estimación se ha utilizado el stock vigente hacia Junio de 2013. La determinación proviene del hecho de que este número se encuentra levemente por debajo de la media del promedio mensual de existencias bovinas de los últimos tres años analizados en el reporte de Senasa para el periodo 2008-2013 (SENASA, 2015).

Por otra parte, las conversiones usadas por Varnero, fueron modificadas para el caso de los bovinos, ya que, en Argentina la mayor parte de las existencias bovinas en sistemas de confinamiento están conformadas por vacas y vaquillonas de entre 300 y 350 Kg. De esta manera, mientras Varnero considera animales con un peso promedio de 500kg y una disponibilidad diaria de estiércol húmedo de 10kg, para los fines de este análisis se considera una disponibilidad diaria de estiércol de 6kg por día y por animal.

Asimismo, se aplica un factor de corrección que considera la obtención de un 80% sobre el cálculo teórico, ya que la recolección de excretas puede ser más compleja en algunos casos.

Tabla 13: Análisis de la capacidad de producción de biogás

Animal	Existencias (a)	Disponibilidad de estiércol por día y por animal (kg/día) (b)	Volumen de Biogás (m ³ /kg húmedo) (c)	Capacidad de producción de biogás (m ³ /día) (a x b x c)
Bovinos	1.245.437	6	0,04	298.905
Aves	727.000.000	0,18	0,08	10.468.800
Porcinos	4.726.245	2,25	0,06	638.043
Total				11.405.748
Total (80% eficiencia)				9.124.598

Fuente: Elaboración propia en base a datos de SENASA (2015) y Varnero (2011).

De esta forma, el cálculo teórico arroja que el total de producción de biogás a partir de bovinos, aves y porcinos en sistemas de confinamiento en Argentina es de 9.124.598 m³.

Según estudios del INTA, para el caso de motores de 1 MW de capacidad, la eficiencia aproximada es del 40 % en la transformación de energía térmica en electricidad. Por lo tanto, si se alimenta un motor generador con biogás que contenga un 50-60 % de metano, y partiendo de una eficiencia del 40 % en la transformación de energía térmica en electricidad, se obtiene un factor de conversión de 2 kWh de electricidad por cada m³ de biogás (1 m³ de biogás * 50% * 40% * 10 kWh) (Hilbert, 2009).

Siguiendo este cálculo, la capacidad de producción de energía a partir de este volumen de residuos es de 18.249 MWh, casi la demanda energética de nuestro país.

Por otro lado, se dejaría de arrojar a la atmósfera el metano contenido en el biogás (considerando 50-60% en volumen de CH₄). La reducción estimada de emisiones anuales podría comercializarse o negociarse con algún país interesado mediante el mecanismo de desarrollo limpio.

6.5 Análisis de los beneficios y ahorros de la importación de energía a partir del biogás

6.5.1 Beneficios obtenidos a partir de la generación de biogás

Los países industrializados ven en los biocombustibles, una manera de diversificar las fuentes de energía, encontrar nuevos mercados para sus productos de origen agropecuario, y reducir las emisiones de efecto invernadero. Los actuales estudios sobre certificación de sustentabilidad permiten hoy establecer el impacto neto de los sistemas de bioenergía sobre las emisiones y asegurar que las tecnologías ahorren en la emisión de carbono y prevengan deterioros en la biodiversidad en forma comparada con los combustibles fósiles a ser reemplazados.

El aprovechamiento de ecosistemas naturales, cultivos y plantaciones energéticas perennes realizadas con criterios de sustentabilidad, propenden a una mayor biodiversidad, en comparación con los cultivos anuales tradicionales. La introducción de cultivos energéticos anuales en los sistemas agrícolas, permite diversificar y ampliar la rotación de cultivos, y sustituir los sistemas de monocultivos, que son menos favorables desde el punto de vista de la conservación del suelo y agua. Las tierras deforestadas, degradadas y marginales se pueden restablecer con plantaciones destinadas a bioenergía, y ayudar así a combatir la desertificación y también a reducir las presiones del mercado ejercidas sobre tierras agrícolas de mayor calidad.

La bioenergía es la más versátil de las energías renovables, dado que puede servir tanto para la generación de electricidad y calefacción como para la producción de combustible (SECyT, SAGPyA, INTA, FAO, 2008).

En Argentina, la generación y distribución de energía, no es uniforme a lo largo de todo el territorio nacional, existiendo lugares o regiones con necesidades energéticas aun no cubiertas, en donde se podría estar aprovechando esta posibilidad de generación energética a partir de biomasa. Esto generaría no solo un beneficio ambiental en el territorio, sino también, por un lado, brindar la posibilidad de desarrollo de la región al disponer de energía en origen para la instalación de industrias o empresas agroindustriales; y por otro, el hecho de llevar adelante el emprendimiento de una instalación de una planta generadora de bioenergía, conlleva todo un

proceso a nivel de la región que también aporta al desarrollo de la misma (Bragachini, et al., 2010).

Como se explicó en la sección 6.4.1 la capacidad total de producción de biogás a partir de bovinos, aves y porcinos en sistemas de confinamiento en Argentina es de 9.124.598 m³ aproximadamente, lo cual implica ahorro potencial en el consumo de energía fósil. Es importante mencionar que el contenido del biogás es 60% Metano (CH₄) y 40% dióxido de carbono (CO₂).

Las reducciones de emisiones de GEI se miden en toneladas de CO₂ equivalente, y se traducen en Certificados de Emisiones Reducidas (CER).

Los CER's, son unos documentos emitidos por los países en vía de desarrollo a los industrializados que certifican la reducción de emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI) a la atmósfera, a través de la implementación de proyectos definidos bajo el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), tales como: la aplicación de mejoras tecnológicas en las industrias, la sustitución de combustibles, la generación de energía. Los certificados generados por este tipo de actividades pueden ser utilizados por los países industrializados como comprobante de cumplimiento con las metas de reducción de GEI a la atmósfera que, según el protocolo deben alcanzar. Un CER equivale a una tonelada de CO₂ que se deja de emitir a la atmósfera, y puede ser vendido en el mercado de carbono. El precio de los CERs ha variado desde su inicio en el 2008 cuando ascendían a 20USD/tonelada, descendiendo a 5USD/tonelada en respuesta a la crisis de la Unión Europea. De acuerdo con estimaciones de Thomson Reuters, el valor de los mismos rondará los 0,5 Euros como resultado del incremento de la oferta de los mismos (Thomson Reuters, 2015).

Hacia el 30 de Junio de 2015, se habían registrado 7.645 proyectos de Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL), de los cuales 2.587 habían emitido aproximadamente 1.6 miles de millones de CERs, siendo China quien gestionó más del 49% de los proyectos entre 2004 y 2015, seguido por India con 20.6% y Brasil con 4.4% (Observador de Políticas sobre el Clima, 2015).

El metano tiene un potencial de calentamiento global 21 veces mayor que el del dióxido de carbono (convencionalmente tomado como la unidad). Esto significa que la reducción de la emisión de una tonelada de metano equivale a 21 toneladas de CO₂ abatidas. Ese efecto multiplicador potencia el volumen total de bonos a obtener (Gaioli, 2010). De esta forma, el cuadro 14 estima la cantidad de CO₂ equivalente de metano que se estaría evitando de enviar a la atmósfera produciendo biogás a partir de las excretas animales producidas por bovinos, porcinos y aves en sistemas de confinamiento, obteniendo como resultado 27.696.258 toneladas de carbono equivalente anuales.

Los ingresos a obtener por ventas de bonos de carbono CERs, considerando un precio de 0,5 Euro/tonelada, ascenderían a 13.848.129 Euros anuales

Tabla 14: Cálculo del ahorro de Emisiones de Toneladas de Carbono Equivalente anuales

Productos obtenidos a partir de excretas de animales en sistemas de confinamiento	
9.124.598	m ³ Biogás/día
3.330.478.381	m ³ Biogás/año

1.998.287.029	m ³ Metano ⁽¹⁾
1.318.869.439	Kg Metano ⁽²⁾
1.318.869	Toneladas de Metano
27.696.258	Toneladas de Carbono Equivalente
⁽¹⁾ Se considera composición del biogás=60% metano	
⁽²⁾ Densidad metano=0,66kg/m ³	

Fuente: Elaboración propia

También se generarían más puestos de trabajos ya que para el funcionamiento del biodigestor se necesita mano de obra para realizar las operaciones diarias, y como resultado de la producción de biogás se obtiene fertilizante orgánico que puede ser comercializado.

Asimismo, se evitarían los problemas derivados de la acumulación de estiércol en sistemas intensivos sin tratamiento o con tratamientos deficientes, en los cuales se degrada la calidad del suelo y el agua superficial y subterránea con un exceso de nutrientes (Nitrógeno, Fósforo y Potasio), materia orgánica y patógenos. (Hernández, 2015).

De acuerdo con Hilbert (2009), entre los beneficios del biogás es posible enumerar:

- **Efecto del efluente sobre el suelo:** Debido a su rápida descomposición el efluente brinda rápidamente nutrientes disponibles. Los ácidos húmicos presentes en este material contribuyen a mejorar la estructura del suelo y su porosidad aumentando al mismo tiempo la capacidad de intercambio.
- **Efectos sobre los cultivos:** Existen evidencias en cuanto al incremento en la producción de distintas especies provocada por la aplicación de efluentes al suelo.
- **Aspecto sanitario:** Aporta indudables beneficios al reemplazar otros costosos sistemas para obtener el mismo grado de degradación de efluentes. El tratamiento de los desechos por vía anaeróbica elimina la acumulación de estos a la intemperie evitando la proliferación de moscas, mosquitos, otros insectos y roedores. El proceso en sí mismo, produce una reducción del 90% al 99% de los principales patógenos animales (estafilococos, salmonella, pseudo-monas). El proceso fermentativo también tiene un efecto beneficioso si se lo emplea como biofertilizante ya que un gran porcentaje de semillas de las malezas se tornan inviables.
- **Uso para la alimentación:** El efluente de digestores tiene otras aplicaciones entre las cuales merecen mencionarse la preparación del compost, la alimentación de algas y peces y de animales en raciones balanceadas.

6.5.2 Ahorros de importación de energía

De acuerdo con la Cámara Argentina de Energías Renovables (CADER), la generación de energías renovables es una alternativa competitiva frente a la generación distribuida contratada con los valores promedio en 2014. El valor medio de los costos de generación de energía distribuida en 2014 con combustibles se ubica cerca de los 390 USD/MWh (236 USD de contratos

y 154 USD por el combustible (Gasoil)). Según la misma, es más conveniente instalar equipos de energías renovables que quemar combustibles fósiles importados.

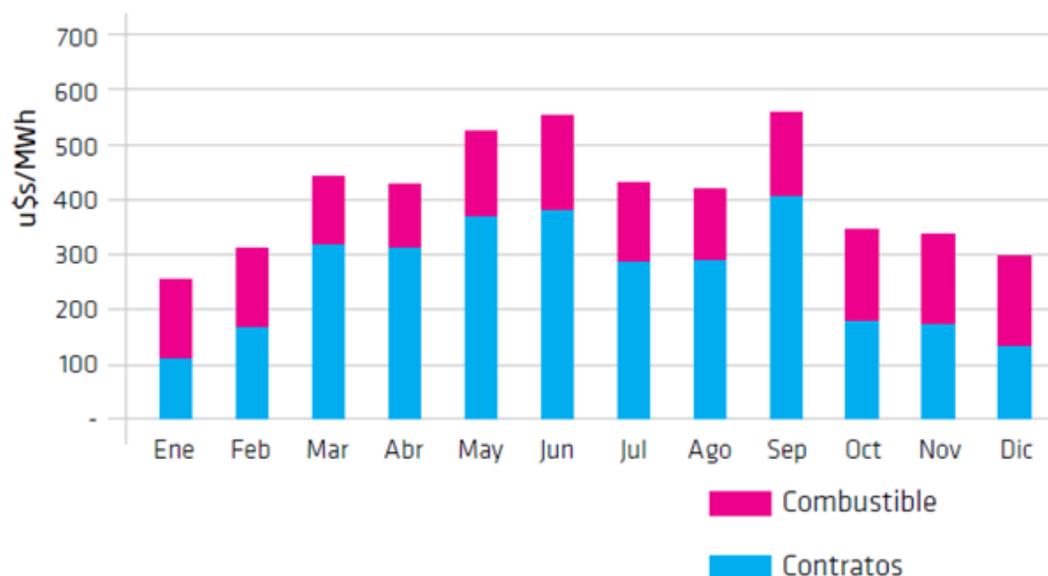


Figura 17: Costo de Generación distribuida en 2014 con combustibles

Fuente: Cámara Argentina de Energías Renovables (CADER, 2015)

El gráfico 5 de la sección 3.2.2 de este documento, indica la cantidad de Gasoil utilizada en generación eléctrica y su procedencia, mayoritariamente de importación. Valorizando las compras del año 2014, incluyendo costos y logística, el gasto en Gasoil representó unos 1.200 millones de dólares. A estas importaciones deben añadirse las de Gas Natural Licuado y Fuel Oil, lo que da un total que excede los 10.000 millones de dólares, monto que podría ser ahorrado al incorporar Energías Renovables a la matriz eléctrica (CADER, 2015).

6.6 Análisis de viabilidad económica y sensibilidad de variables

Desde el punto de vista de la inversión inicial, la diversidad de modelos, sistemas y escalas empleadas de acuerdo al tipo de clima, sustrato, eficiencia requerida y disponibilidad de recursos técnicos y económicos, no permiten realizar una evaluación generalizada debiéndose realizar los estudios en forma particular.

El objetivo de esta sección es realizar una evaluación económica de la producción de biogás para el contexto agropecuario argentino, tomando en consideración tres escenarios de tecnología e implicando los mismos tres niveles diferentes de costo de inversión. Como se mencionó previamente, es importante destacar que, si bien se menciona como tecnología, los proyectos de tecnología baja adolecen de los riesgos asociados que en este estudio no son ponderados. La tabla 15, expone estos tres casos:

Tabla 15: Proyectos bajo análisis de viabilidad económica

	Tecnología de Punta	Tecnología Media	Tecnología Baja
Inversión (USD)	5 millones	250 mil	4.300
Energía generada (MWh anuales)	8.465	678	158
Fertilizantes (toneladas)	15.200	1.500	30

Fuente: Elaboración propia

La inversión para la puesta en marcha del biodigestor incluye la compra de bienes de capital: equipos de alimentación, bombas, equipos de agitación, separador de sólidos, etc.; así como también la realización de obras civiles necesarias para la instalación y el funcionamiento de la misma.

A continuación se informa la inversión total para los tres casos de tecnología (tecnología de punta, media y baja), de acuerdo con los datos relevados en el análisis de los casos de estudio analizados en la sección 6.3. En todos los casos, se realizará luego un estudio de viabilidad económica para tres diferentes supuestos de precio de la electricidad, obteniendo la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Valor actual Neto de la Inversión (VAN). Asimismo, la evaluación supone que el proyecto se amortiza en 10 años, y que existe un mercado para colocar toda la generación de energía eléctrica, así como la posibilidad de vender el biofertilizante (a 1 USD la tonelada). Los beneficios contemplados también incluyen la posibilidad de vender la energía térmica generada en el proceso de producción de biogás, así como la venta de Certificados de Emisión de Reducciones de Gases de Efecto Invernadero (CERs). El valor económico usado para la venta de la energía térmica es de 20 USD por un MWh de calor (precio equivalente al reemplazo de gas natural para generar la misma cantidad de energía de acuerdo al estudio de rentabilidad realizado por el INTA (Hilbert, et al., 2010)), mientras que el precio aplicado a los CERs es de 5 USD por certificado. Los tres escenarios de precios se detallan a continuación:

Escenario 1: Se asume el valor, de la licitación del programa GENREN 1/10 de Enarsa para generación a partir de biomasa, de 189USD/MWh.

Escenario 2: Se asume el precio de la energía, determinado según las Res. SE 240/03, que supone abastecimiento de gas sin límites para todo el parque generador que lo pueda consumir y con un tope de 120 \$/MWh (Cammesa, 2015). Este precio se traduce a 9,022 USD,

considerando el tipo de cambio vigente al 31 de Diciembre de 2015 de 13,30 \$/USD (Banco Nación, 2015).

Escenario 3: Se aplica el mínimo precio hasta obtener una Valor Actual Neto de la Inversión positivo, considerando una tasa de descuento del 12% anual.

Tabla 16: Escenarios de precios para el estudio de viabilidad económica

	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Precio	189 USD/MWh	9 USD/ MWh	VAN+

Fuente: Elaboración propia

Evaluación Económica

A continuación se realizará un análisis económico para cada caso de nivel tecnológico. Para que la evaluación económica sea viable, se considera que el VAN debe arrojar un resultado positivo y la TIR debe ser mayor al costo de oportunidad o tasa de descuento. Los flujos financieros de cada proyecto de inversión y cálculos de rentabilidad para cada uno de los tres supuestos de precio de la electricidad fueron incluidos en el anexo 2.

Caso 1: Tecnología de punta

Se toma como ejemplo, una planta con una capacidad de 1 MW de electricidad, que utiliza como insumo 20.000 toneladas de silaje de maíz anuales y 2.000 toneladas de estiércol. La mezcla de estiércoles con materia de alta potencial como los silajes de plantas enteras, constituyen una forma de sumar dos materias que incrementa la capacidad de producción de biogás (INTA, 2010). Se trata de una planta de alta eficiencia con mezcla completa y calefacción dentro del digestor con una inversión inicial de 5 millones de dólares.

Esta planta produciría entonces 24 MWh diarios, 168 MWh por semana y 8.465 MWh al año. Asimismo, se obtendrían 8.465 MWh de energía térmica y 15.200 toneladas de biofertilizante. Finalmente, se estimaron los ingresos a obtener por ventas de bonos de carbono (CERs) a partir de la obtención de un mínimo de 500m³ de biogás por día.

La evaluación económica permite concluir que mientras que el precio de la energía hacia el año 2015 es de 9 USD/MWh, el precio mínimo necesario para cubrir el costo de producción del biogás para este proyecto de gran escala es de 140USD/MWh. Mientras que utilizando en el análisis, el valor lanzado por el programa GENREN para biogás en la licitación ENARSA 01/2010, se obtiene una tasa interna de retorno (TIR) del 23%, manteniendo los supuestos arriba estipulados.

Caso 2: Tecnología media

El segundo caso contempla una planta de tecnología media, con una demanda de estiércol de 320 cerdos y una inversión inicial de la planta de 250.000USD. Esta planta produciría 678 MWh de energía eléctrica y térmica, mientras que la venta anual por biofertilizante ascendería a 1.500USD y los ingresos por ventas de bonos de carbono (CERs) a 607 USD anuales.

En este caso de tecnología media, la evaluación económica permite advertir que el precio mínimo por MWh para que el proyecto sea viable es de 110 USD/MWh.

Caso 3: Tecnología baja

El tercer caso, considera un proyecto aplicable para una granja pequeña de 6 cerdos con una inversión inicial de 4,300 USD. En este caso, la energía anual producida es de 158 MWh, con ingresos adicionales anuales que ascienden a 3.494 dólares, incluyendo la venta de la energía térmica generada, el biofertilizante y los bonos de carbono. Este proyecto requiere un precio mínimo de la energía eléctrica de 130USD/MWh para tornarse viable.

Tabla 17: Resultados del análisis para cada tipo de tecnología

	Tecnología de Punta	Tecnología Media	Tecnología Baja
TIR Escenario 1	23%	39%	246%
Precio VAN+ Esc3	140 USD/ MWh	110 USD/MWh	130USD MWh

Fuente: Elaboración propia

7. Conclusiones

Las energías renovables van ganando protagonismo a nivel mundial mientras que en Argentina, en la actualidad, representan solamente el 1,9% de la matriz energética. Este trabajo de investigación permite concluir que el biogás tiene mucho potencial y puede constituirse en una de las fuentes de energía renovables que ayuden al país a pasar de una economía basada en los combustibles fósiles a otra basada en una diversidad de fuentes.

En particular, este estudio parte del análisis de la realidad productiva nacional. En este sentido, Argentina es un país con una economía basada en la producción agropecuaria, en el cual la producción actual de granos, aceites y proteínas vegetales, ubican al país como uno de los líderes mundiales en su exportación. Asimismo, los aumentos demográficos mundiales han llevado a una creciente demanda de alimentos y productos, intensificando muchas de las producciones y agro-industrias.

Debido a esta demanda creciente de alimentos, Argentina ha avanzado su frontera agrícola hacia zonas tradicionalmente ganaderas lo cual aceleró el pasaje de la ganadería basada en sistemas extensivos hacia sistemas de confinamiento, en donde se generan grandes cantidades de excretas que de no ser tratadas pueden generar amplios impactos ambientales y sociales negativos como emisiones, contaminación de suelos, aguas y olores, entre muchos otros. Uno de las tecnologías de aprovechamiento de estos residuos agropecuarios es la producción de biogás.

Este trabajo ha expuesto el potencial de producción de biogás para el país así como los diferentes beneficios que traería aparejado: ahorros de importaciones, autoabastecimiento energético, disminución de emisiones de gases de efecto invernadero, generación de empleo y reducción de la contaminación, son algunos de ellos.

Del análisis de los datos suministrados por SENASA y utilizando las conversiones teóricas expuestas por Varnero (2011), la capacidad del país de producir biogás, tomando en consideración las actuales existencias animales en sistemas de confinamiento, es de 18.249 MWh, permitiendo cubrir más de la mitad de la demanda energética actual del país. El beneficio es doble, ya que soluciona el tratamiento de los residuos generados al tiempo que constituye una fuente energética de amplia disponibilidad.

Uno de los rasgos positivos que ha evidenciado esta investigación es que el biogás puede producirse a partir de desarrollos tecnológicos sencillos, con bajos requerimientos de inversión, así como a partir de plantas que aplican tecnología de punta. Estos últimos tienen el potencial de suministrar energía a la red y convertirse en una fuente representativa de la matriz energética Argentina. Al mismo tiempo, si bien los riegos técnicos y de seguridad asociados a los proyectos de menor desarrollo tecnológico no fueron analizados en este documento, se observa que actualmente permiten solucionar las necesidades de abastecimiento energético de sectores rurales que se encuentran aislados de las redes de distribución. De esta manera, desarrollando esta fuente de energía no solo se obtendría un beneficio ambiental sino que también brindaría una

posibilidad de desarrollo a regiones aisladas, facilitando la instalación de industrias o empresas agroindustriales a partir de la posibilidad de abastecer sus requerimientos energéticos.

También es oportuno destacar que el país vislumbra una gran evolución en materia de legislaciones y políticas de incentivos para el desarrollo de fuentes de energía renovables. La Ley N° 26.190 declara de interés nacional la generación de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables y expone como meta que la participación de las mismas sobre la matriz nacional se ubique en el 8% hacia el 2016. A partir de este trabajo de investigación, es posible afirmar que si bien nos encontramos lejos de alcanzar esa meta, es necesario continuar en esta línea y fomentar incentivos que favorezcan la generación de biogás.

Finalmente, la evaluación de viabilidad económica realizada en este estudio evidencia que los actuales precios de energía no incentivan el desarrollo de esta fuente energética, sin embargo, resultaría viable a precios que se encuentran por debajo del costo de importación de energía al cual debe recurrir el país actualmente para cubrir sus necesidades energéticas, especialmente en estaciones de mayor demanda como el verano y el invierno. Según el cálculo realizado, para un proyecto que aplica tecnología de punta el precio de la energía eléctrica, para que el proyecto resulte viable, debe ubicarse por encima de los 140USD/MWh, siendo 110USD/MWh y 130USD/MWh los precios que convierten rentable la realización de un proyecto con tecnología media y baja respectivamente.

De esta forma, es posible confirmar la hipótesis que expone que el biogás constituye una fuente de energía viable, que se adapta a diversos tipos de establecimientos agropecuarios, y que puede contribuir a diversificar la matriz energética nacional. Sin embargo, a partir de este trabajo es posible concluir que para alentar su desarrollo, es necesario realizar un sinceramiento gradual de precios que tornen rentables los proyectos de inversión requeridos para establecer instalaciones dedicadas a la generación de este tipo de energía renovable.

8. Bibliografía

Agencia Alemana de Energía, 2013. *Evolución del número de plantas de biogás en Alemania y su potencia eléctrica total instalada*. [Online] Available at: <http://www.renewables-made-in-germany.com> [Accessed 10 Marzo 2015].

Bragachini, M. et al., 2010. *Energías Renovables: las oportunidades de Argentina para generar bioenergía en origen*, s.l.: s.n.

Cámara Argentina de Energías Renovables, 2015. *La hora de las Energías Renovables en la matriz eléctrica Argentina*, Buenos Aires: CADER.

CAMMESA, 2014. *Informe Anual*, Buenos Aires: CAMMESA.

Cardozo, F., Gornitzky, C. & Palioff Nosal, C., 2009. *Energías renovables para el desarrollo rural*, s.l.: INTA.

Casanovas, G., 2015. *Biogás, Argentina y el mundo*, Buenos Aires: s.n.

CNEA, 2013. *Síntesis del Mercado Eléctrico Mayorista de la República Argentina*, Buenos Aires: Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA).

Comisión Nacional de Energía, 2006. *Guía del mecanismo de desarrollo limpio para proyectos del Sector Energía en Chile*, Santiago, Chile.: Agencia Alemana de Cooperación Técnica (GTZ). Cooperación Intergubernamental Chile-Alemania (Eds).

D'Aiello, E. J., 2015. *Evaluación económica y ambiental de la instalación de biodigestores en la actividad avícola: el caso de la empresa Avícola Santa María de Roque Pérez*, s.l.: s.n.

De las Carreras, A., Reza, L., Lema, D. & C., F., 2010. *Ganados y carnes vacunas. El crecimiento de la agricultura Argentina.*, Buenos Aires: Editorial Facultad de Agronomía.

Dicco, R. D., 2014. *Indicadores del Sector Eléctrico de Argentina*, s.l.: OETEC.

Dicco, R. D., 2014. *Inversiones de los Segmentos de Generación y Transporte de Energía de Argentina: Período 2004-2014*, s.l.: OETEC.

Dicco, R. D., 2014. *Resultados del Plan Energético Nacional*, s.l.: OETEC.

EDENOR, 2015. *EDENOR*. [Online] Available at: <http://www.edenor.com.ar/> [Accessed 15 Enero 2016].

Ex Secretarios de Energía, 2014. *Cortes de Electricidad de Diciembre de 2013: Otra manifestación de la Crisis del Sector Eléctrico*, Buenos Aires: s.n.

Gaioli, F., 2010. Costo-beneficio: la conveniencia de entrar al mercado de carbono. *Clarín*, 5 Enero, p. 24.

Hilbert, J. A., 2009. *Manual para la producción de biogás*, Buenos Aires: INTA Castelar.

Hilbert, J. A., Grubber, S. & Sheimberg, S., 2010. *Estudio de caso preliminar de generación eléctrica de 1 MW con una planta de biogás de alta eficiencia*, s.l.: INTA.

Huerga, I. & Venturelli, L., 2009. *Energías Renovables. Su implementación en la Agricultura Familiar de la República Argentina*, s.l.: INTA.

IAE, 2014. *Evolución de las Reservas de Hidrocarburos en Argentina entre 2002 y 2012*, Buenos Aires: Instituto Argentino de la Energía General Mosconi (IAE).

IFES, G., 2014. *Biodigestores rurales de bajo costo*, Buenos Aires: s.n.

Merino, L., 2012. *Energías Renovables para todos*, Madrid: s.n.

Nación, S. d. E. d. I., 2015. *Datos de Reservas Comprobadas y Probables de Petróleo y Gas - Hasta el Final de la Vida Útil de los Yacimientos*. [Online] Available at: <http://www.energia.gov.ar> [Accessed 15 Diciembre 2015].

NSW Agriculture, 1998. *Policy for Sustainable Agriculture in New South Wales*, New South Wales: s.n.

Observador de Políticas sobre el Clima, 2015. *COP 21 y Mecanismos de Desarrollo Limpio: Decidiendo sobre el futuro de los Certificados de Carbono Internacionales*. [Online] Available at: <http://climateobserver.org/cop21-and-the-clean-development-mechanism-deciding-the-future-of-international-carbon-credits/> [Accessed 10 Enero 2016].



- Pordomingo, A. J., 2004. *ENGORDE A CORRAL*, La Pampa: INTA Anguil - Fac. Ciencias Veterinarias UNLPam..
- Pordomingo, A. J., 2013. *Feedlot: alimentación, manejo y diseño*, s.l.: Facultad de Ciencias Veterinarias.
- Robert, S. S. F., Albornoz, I. & Dana, G., 2009. *Estructura del feedlot en Argentina : nivel de asociación entre la producción bovina a corral y los titulares de faena*, s.l.: s.n.
- Secretaría de Energía de la Nación, 2015. *Secretaría de Energía de la Nación*. [Online] Available at: <http://www.energia.gov.ar/> [Accessed 10 Diciembre 2015].
- SECyT, SAGPyA, INTA, FAO, 2008. *MATRIZ DE OFERTA Y DEMANDA DE BIOENERGIA. Situación actual y desarrollo potencial en Argentina.*, Buenos Aires: s.n.
- SENASA, 2015. *Informes y Estadísticas*. [Online] Available at: <http://www.senasa.gov.ar/informacion/informes-y-estadisticas> [Accessed 16 Diciembre 2015].
- Thomson Reuters, 2015. *Thomson Reuters Sitio Web*. [Online] Available at: <http://thomsonreuters.com/en.html> [Accessed 17 Noviembre 2015].
- Tobares, L., 2012. *La importancia y el futuro del biogás en la Argentina*, Buenos Aires: s.n.
- Universidad de Buenos Aires, 2008. *Evaluación, diagnóstico y propuestas de acción para la mejora de las problemáticas ambientales y mitigación de gases de efecto invernadero vinculados a la producción porcina, avícola y bovina (feedlots y tambos)*, s.l.: s.n.
- Valsecchi, F., 2007. La más natural de las energías. *El Federal*, 04 Enero, pp. 40-42.
- Varnero, M., 1991. *Manual de Reciclaje Orgánico y Biogás*, s.l.: Ministerio de Agricultura (FIA).
- Varnero, M., 2011. *Manual de Biogás*, Santiago, Chile: FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura).

9. Anexos

9.1 Anexo 1: Análisis de casos de estudio

Establecimiento número 1: Frank Annna (Brasil)

Metodología: Relevamiento de información secundario

Fuente: EL FEDERAL, 2007

Motivación

En Brasil, Marco Antonio Fernandes, asesor agronómico del establecimiento brasileño Frank Anna, afirma que en Brasil los productores del campo se vieron obligados a tratar los efluentes, ya que el volumen de estiércol que manejan es enorme. “Con 500 vacas para producir leche y 380 cerdos de engorde estamos generando diariamente 57,7 mil litros de excremento”, explica. Al principio se lo utilizaba como fertilizante, colocándolo sobre las tierras de cultivo de soja, maíz y sorgo. Sin embargo, explica que esto contaminaba el ambiente, atraía a las moscas y el camión que distribuía el producto generaba compactación en el suelo. De esta forma, cuenta que en 2002 decidieron instalar un biodigestor para tratar la bosta teniendo como meta dos finalidades: producir biofertilizante y biogás.

Capacidad de producción

Tienen como input 2,300 m³ de estiércol que colocan en biodigestores, y producen entre 1,500 y 2,000 m³ de biogás por día, cantidad que corresponde a 600-800 litros de nafta.

Beneficios

Con este sistema, el establecimiento captura y quema los gases que emanan de los desechos de los animales de la producción lechera hacia la atmosfera y los utiliza como energía en el propio tambo, en refrigeración y secado de granos en época de cosecha. Lo usa como gas para la cocina y el calefactor y, si lo comprimiera, podría implementarlo como combustible para el auto y el tractor. Y el abono que queda en el biodigestor no solo es más líquido, y por lo tanto, más fácil de aplicar a los cultivos, sino que también es un fertilizante más sano, porque con el calor del proceso se reduce el 80% de la carga contaminante y destruye las semillas de malezas que naturalmente posee, manteniendo los nutrientes propios del excremento.

“No solo es una ganancia ambiental, sino económica ya que el establecimiento Frank Anna tiene un contrato para recibir créditos de carbono y hoy obtenemos 4 mil dólares de carbono por año”, explica Fernandes.

Inversión

Gracias a estos ingresos la inversión inicial de 60,000 dólares para instalar el biodigestor fue recuperada en dos años.

Establecimiento número 2: Bioeléctrica (Rio Cuarto, Argentina)

Metodología: Visita al Establecimiento (22 de Diciembre de 2015)

Responsable del establecimiento: Manuel Ron, Socio Fundador

Motivación:

Bioeléctrica tiene actualmente una planta, conformada por 40 socios/productores agropecuarios. La motivación inicial fue advertir un mercado nuevo que se abría en el mundo a través de la bioenergía. Su objetivo es replicar este proyecto en 60 plantas, es decir, ofrecer la transferencia de la tecnología a productores que serían los dueños del proyecto.

Capacidad de producción

Actualmente bioeléctrica tiene una potencia de 1 MW, y la energía generada abastece a la planta de bioetanol (Bio4), que se encuentra próxima al establecimiento y tiene un consumo de 4MW. Su plan es fomentar el desarrollo de estas 60 plantas para poder suministrar la energía generada a la red, ya que según Ron ser operador en el mercado eléctrico mayorista con solo 1MW es muy difícil. Ron explica que la temperatura a la que funciona el biodigestor primario es termofílica (entre 52°C y 53°C), y que una parte de este calor de la planta se utiliza para mantener la temperatura del digestor, y que el excedente se podría aprovechar como subproducto, por ejemplo “en Alemania se vuelca a una red de agua caliente pública”, explica.

Como input Bioeléctrica utiliza 90% de silaje de maíz y 10% de estiércol. El maíz lo siembran y lo cosechan en campos alquilados, mientras que el estiércol lo obtienen de tambos de la zona. En input diario es de 50 toneladas de maíz y 5 toneladas de estiércol. El tiempo de retención en el biodigestor primario es de 90 días y en el secundario de 35 días. El output es el biogás (1MW de energía Térmica y 1 MW de energía eléctrica con destino a Bio 4) y biofertilizante que va a los campos alquilados.

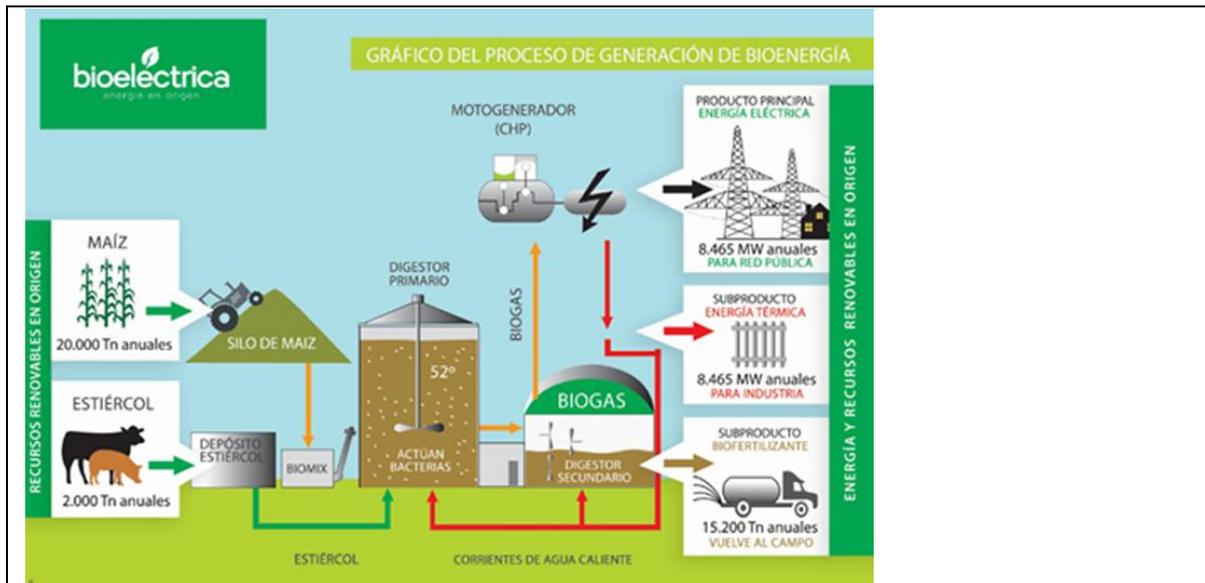


Figura 18: Esquema de la planta bioeléctrica

Beneficios

Ante la pregunta de cómo motivan a los productores a sumarse a este proyecto, Manuel Ron explicó que “es un mercado para colocar del maíz que surge de la rotación con soja.” De esta forma, encontraron en la energía un mercado muy interesante.

El responsable técnico de la planta, Juan Córdoba, destaca como beneficios de esta energía, la generación de empleo, el alto porcentaje de disponibilidad (95%) y la solución que brinda a problemas ambientales.

Inversión

La energía que adoptó Bioeléctrica es alemana (Krieg & Fischer). El proyecto demoró 1 año y la inversión fue de 6 millones de dólares.



Foto 1: Biodigestor secundario de bioeléctrica



Foto 2: Biodigestor primario de bioeléctrica



Foto 2: Maíz sobre base de hormigón para evitar la incorporación de barro

Establecimiento número 3: Oil Fox (Argentina)

Metodología: Entrevista física (24 de Noviembre de 2015)

Responsable del establecimiento: Jorge Kaloustian, Socio Fundador

Motivación:

Jorge Kaloustián explica que la motivación surgió de una necesidad para resolver otros problemas, a partir de la cual encontraron un proceso de generación de energía a partir de biogás y un proceso de biorremediación.

La firma de Kaloustian, Oil Fox, fue la primera en tener una planta de biodiésel de algas, que se emplazó en la localidad de San Nicolás. Trabajaron con 8 universidades para analizar cómo sacar el aceite de las algas. "La inauguramos en 2010 y teníamos un contrato con una petrolera, pero ocho meses después el Gobierno cambió las reglas del mercado y la tuvimos que vender. Ahora estamos analizando recomprarla", relata el empresario.

En el año 2000 comenzaron a cultivar algas como suplemento dietario. El 99% del costo de cultivar algas estaba en tres componentes: CO_2 , energía y fertilizantes. Esa energía que necesitaban, no querían que fuese fósil ya que quitaba el aspecto sustentable entonces ahí surgió la producción el biogás.

Capacidad de producción

Como resultado Oil Fox obtiene tres productos: Biorremediación, plantas generadoras de energía (biogás) y suplementos dietarios (espirulina). El proyecto de Brandsen de cultivo de algas, arrancó su construcción en marzo de 2013 y su producción empezó un año después. La capacidad está en torno de las 12 millones de dosis de espirulina por mes. "Eso es lo que el mercado chino consume en un día". "Por ahora los emprendimientos de Argentina están orientados a resolver problemas particulares, a proveer de energía un establecimiento pero no masivamente ya que el precio del kw en argentina está muy bajo pero en caso que los precios se sinceren es una oportunidad para el biogás", describe Jorge Kaloustian.

Beneficios

En una curtiembre hicieron un trabajo de biorremediación con algas, y esas algas con efluentes (que no pueden ir para alimentación) fueron a alimentar el biodigestor para producir biogás.

En Republica Dominicana, elementos contaminantes en las playas han servido de abono para el desarrollo de algas. Este país no tiene ni gas, ni petróleo ni carbón, por esto presentaron el proyecto por 30 millones de euros para producir 100 MW de energía con la digestión anaeróbica de las algas (biogás).

Inversión

La inversión para un establecimiento de 25 a 30 bovinos (media tonelada de estiércol diario), es de 20,000-30,000 dólares, incluyendo el digestor, gasómetro, generador, bombas y válvulas, y es una tecnología que se puede escalar hasta 100MW.

Dado que no había una tecnología que pudiera ser escalada, empezaron a estudiar un diseño propio de un biodigestor. Este digestor es una mezcla de tecnologías (hindú y China) adaptado de manera tal de hacerlo modular.

De la misma forma, a raíz de que no había una oferta de generadores en Argentina que funcionen a biogás (se podían adaptar los que funcionaban a gas pero duraban poco) incursionaron en el uso de motores de vehículos a gas modificados para generar energía eléctrica. El diseño puede servir para generar 100MW. “Dado que los motores se usan durante las 24 hs los 365 días del año, seguramente se romperán y es un costo alto. Por eso decidimos modificar motores de autos a nafta convirtiéndolos a gas. Generalmente un generador de estas características cuesta alrededor de \$150.000 (unos U\$S 10.000) y tienen una duración muy limitada ya que se usan para contingencias y podrían estar funcionando uno o dos meses con tiempos de “descanso”. Es por eso que se necesitan no menos de 4 a 5 para poder soportar la demanda y el desgaste lo que implica una inversión del orden de los U\$S 40.000 a U\$S 50.000. Las modificaciones a los motores a que hago referencia tienen un costo de U\$S 4.000 a U\$S 5.000 y permiten “darse el lujo” de romperlos ya que su reemplazo es mucho más barato”, relata Jorge Kaloustian.

Establecimiento número 4: Cabañas Argentinas del Sol S.A (Buenos Aires, Argentina)

Metodología: Relevamiento de información secundario

Fuente: Vida Rural, 2009 (http://issuu.com/pfernandez/docs/vida_rural_140_ok)

Motivación

Hugo Garcia es gerente de Cabañas Argentinas del Sol S.A. una empresa que cuenta con un criadero de cerdos en Marcos Paz, provincia de Buenos Aires. El crecimiento trajo aparejadas algunas complicaciones, concretamente con los excrementos de los animales, que progresivamente se fueron transformando en un impedimento para un mayor desarrollo. Lejos de renunciar a la idea de seguir apostando a la actividad, Hugo buscó una salida al problema. Primero experimentó por su cuenta y advirtió que el tratamiento de los excrementos producía gas. Luego perfeccionó el sistema importando tecnología de Brasil. Así, lo que al principio fue la solución a un problema, luego se transformó en un importante beneficio para el negocio.

Capacidad de producción

El criadero cuenta con un plantel de 920 madres en confinamiento, que producen cada día alrededor de 45.000 kilos de bosta. Los desperdicios son ingresados a tres biodigestores, donde cada 24 horas se producen 390 metros cúbicos de biometano, que representan en promedio el equivalente a 190 kilos diarios de gas de garrafas.

Beneficios

Este sistema produce energía, modifica los desechos orgánicos y los transforma en fertilizantes de calidad, mejora las condiciones higiénicas de un criadero, contribuye a mantener protegidos suelo, agua, aire y vegetación, genera beneficios económicos a causa de la sustitución de energía y fertilizantes, del aumento de los ingresos y del incremento de la producción agrícola-ganadera. Utiliza un recurso que tiene un alto poder contaminante si lo dejamos a la intemperie y lo convierte en una fuente de energía renovable y limpia. Con este biogás se abastece una planta de desactivación de soja, la calefacción de los lechones, y se genera electricidad sin costo de combustible. Además, los residuos que suministra el biodigestor (agua con nitrógeno y fósforo inorgánico) se utilizan como biofertilizante para cultivos de cereales, leguminosas y pasturas.

Inversión

Según indica Hugo García, esto permite ahorrar más de \$15.000 por mes en gas y electricidad, lo que amortiza en menos de dos años la inversión inicial.

Organización número 5: Grupo IFES (Innovaciones para un Futuro Energético Sustentable) (Argentina)

Metodología: Entrevista Telefónica (23 de Noviembre de 2015)

Responsable: Guido Casanovas, Co-fundador de Grupo IFES y responsable del área de biogás de la Fundación Energizar.

Motivación

Guido relata que está trabajando en distintos proyectos. Destaca el proyecto “Cuidando Nuestras Cuencas”, Proyecto de Responsabilidad Social Empresarial de Agrium, empresa Canadiense, y surge de la necesidad que plantearon los chicos de hacer un mejor manejo de los efluentes de la escuela, especialmente de la pequeña granja de cerdos que tienen.

A partir de esta iniciativa se unen al proyecto la Fundación Energizar con un gran número de voluntarios, principalmente gente que se acercó a la fundación con ganas de participar en proyectos de extensión hacia la sociedad relacionados con energías renovables y cuidado del ambiente.

Capacidad de producción

Tienen dos líneas de trabajo importante, una privada y otra social.

Dentro de la privada construyeron, junto a la empresa de ingeniería Montanaro & Asoc, una planta de biogás de 2000 m³ en la localidad de Huinca Renancó – Córdoba con tecnología de punta. Esta planta tiene un potencial para tratar 30 toneladas de residuos sólidos urbanos, y en una primera etapa comenzará a trabajar con una potencia instalada de 120 Kwh para subir a 300 Kwh en una segunda instancia. Es la primera planta de biogás del país con tecnología de punta pensada para tratar la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU).

En los proyectos sociales trabajan con la Fundación Energizar principalmente, y otras entidades como la FAUBA (Facultad de Agronomía de la UBA), Cuidando Nuestras Cuencas y Ecoclimasol, en proyectos de biodigestores en escuelas rurales. El objeto es mostrar tecnologías de bajo costo que se puede utilizar en zonas rurales para que una familia que tiene una pequeña producción animal por ejemplo pueda tener biogás para cocinar, sustituyendo la leña, y/o una heladera a gas, aún sin tener acceso a la red energética. Actualmente tienen dos biodigestores instalados, unos en Duggan de 30m³ aprox, y otro en Acevedo, de 10m³. Además su idea es poder desde las escuelas difundir y que los chicos aprendan sobre estas nuevas tecnologías.

Beneficios

El problema ambiental no es menor, en el medio rural la deforestación para uso familiar comienza a ser un problema importante, perdiendo bosques y montes nativos que se utilizan para la generación de madera. Los biodigestores han mostrado ser una excelente alternativa que permiten dar respuesta a estos problemas. Desde proveer gas a una familia o escuela en el medio rural alejada de las redes de distribución (para cocina, estufas, heladeras, lámparas), hasta grandes plantas de tratamiento de residuos orgánicos que permiten utilizar la fracción orgánica de la basura y generar grandes cantidades de energía, el biogás y las plantas de biodigestión son una alternativa ya exitosa en varios lugares del mundo. A su vez, en muchos casos, dicho proceso genera un segundo producto de alto valor como ser los biofertilizantes, que no solo aportan macro nutrientes a los suelos sino que también aportan materia orgánica, micro nutrientes, minerales, fito hormonas, que mejoran la sustentabilidad de la tierra. El potencial es enorme y sugiere un futuro prometedor, aportando un grano de arena importante para tener una mejor calidad de vida, cuidando mejor al mismo tiempo nuestros recursos naturales para las futuras generaciones.

Inversión

A la hora de hablar del costo de la inversión Guido Casanovas destaca que hay que ser muy cautelosos ya que dependiendo del objetivo de la planta de biogás, el costo y las tecnologías son inmensamente variables. La tabla 10 fue construida a partir de información suministrada por Guido Casanovas quien presentó un costo estimado para una tecnología de punta, media y baja, aclarando que para tecnología de punta los costos pueden ascender a 15 millones de dólares y en tecnología media puede haber proyectos de 200.000 pesos hasta 10 millones de pesos, dependiendo el proyecto.

9.2 Anexo 2: Análisis de rentabilidad económica

Caso 1: Tecnología de punta

Tabla 18: Flujo Financiero del proyecto de inversión para el Caso 1

Flujo Financiero del proyecto de inversión

Inversión Planta: 5.000.000 USD

Amortización de la inversión: 10 años

Tasa interes=12%

Año			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Egresos												
Demanda de maíz anual (20.000 tons anuales)		Toneladas	20.000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000
Precio silaje de maíz	18	US/t	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Demanda de estiércol (2.000 tons anuales)		Toneladas	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Costo anual silaje maíz		USD	360.000	360.000	360.000	360.000	360.000	360.000	360.000	360.000	360.000	360.000
Gastos generales de mantenimiento		USD	103.525	103.525	103.525	103.525	103.525	103.525	103.525	103.525	103.525	103.525
Egresos totales			463.525									
Producción de energía												
Energía eléctrica producida		MWh	8.465	8.465	8.465	8.465	8.465	8.465	8.465	8.465	8.465	8.465
Otros Beneficios												
Energía Térmica producida		MWh	8.465	8.465	8.465	8.465	8.465	8.465	8.465	8.465	8.465	8.465
Retorno por el calor	20	USD/MWh	169.300	169.300	169.300	169.300	169.300	169.300	169.300	169.300	169.300	169.300
Ventas de biofertilizantes			15.200	15.200	15.200	15.200	15.200	15.200	15.200	15.200	15.200	15.200
Ingreso por venta biofertilizante	1	USD/t	15.200	15.200	15.200	15.200	15.200	15.200	15.200	15.200	15.200	15.200
Bonos de Carbono CERs			1.518	1.518	1.518	1.518	1.518	1.518	1.518	1.518	1.518	1.518
Ingreso por venta CERs	5	USD/t	7.588	7.588	7.588	7.588	7.588	7.588	7.588	7.588	7.588	7.588
Ingresos adicionales totales		USD	192.088									

Fuente: Elaboración propia

Caso 2: Tecnología media

Tabla 22: Flujo Financiero del proyecto de inversión para el Caso 2

Flujo Financiero del proyecto de inversión

Inversión Planta: 250.000 USD

Amortización de la inversión: 10 años

Tasa interes=12%

Año			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Egresos												
	Precio	Unidad										
Demanda de estiércol (320 cerdos)		Toneladas	262,8	262,8	262,8	262,8	262,8	262,8	262,8	262,8	262,8	262,8
Gastos generales de mantenimiento		USD	42.410	42.410	42.410	42.410	42.410	42.410	42.410	42.410	42.410	42.410
Egresos totales			42.673									
Producción de energía												
Energía eléctrica producida		MWh	678	678	678	678	678	678	678	678	678	678
Otros Beneficios												
	Precio	Unidad										
Energía Termica producida		MWh	678	678	678	678	678	678	678	678	678	678
Retorno por el calor	20	USD/MWh	13.560	13.560	13.560	13.560	13.560	13.560	13.560	13.560	13.560	13.560
Ventas de biofertilizantes												
Ventas de biofertilizantes			1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500
Ingreso por venta biofertilizante	1	USD/t	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500
Bonos de Carbono CERs												
Bonos de Carbono CERs			121	121	121	121	121	121	121	121	121	121
Ingreso por venta CERs	5	USD/t	607	607	607	607	607	607	607	607	607	607
Ingresos adicionales totales		USD	15.667	15.667	15.667	15.667	15.667	15.667	15.667	15.667	15.667	15.667

Tabla 25: Análisis de VAN y TIR para el caso 2: Escenario 3

Escenario 3-Precio electricidad mínimo para que sea viable la inversión (Precio mínimo: 110USD/MWh)

Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos venta energía		74.583	74.583	74.583	74.583	74.583	74.583	74.583	74.583	74.583	74.583
Ingresos adicionales		15.667	15.667	15.667	15.667	15.667	15.667	15.667	15.667	15.667	15.667
Egresos anuales		42.673	42.673	42.673	42.673	42.673	42.673	42.673	42.673	42.673	42.673
Flujo Neto		47.577	47.577	47.577	47.577	47.577	47.577	47.577	47.577	47.577	47.577
Inversión	-250.000										
Total egresos	-250.000	47.577	47.577	47.577	47.577	47.577	47.577	47.577	47.577	47.577	47.577
Tasa: 12%											
		14% TIR									
		\$ 16.803,33 VAN									

Caso 3: Tecnología baja

Tabla 26: Flujo Financiero del proyecto de inversión para el Caso 3

Flujo Financiero del proyecto de inversión

Inversión Planta: 4.300 USD

Amortización de la inversión: 10 años

Tasa interes=12%

Año			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Egresos												
Demanda de estiércol (6 cerdos)		Toneladas	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Gastos generales de mantenimiento		USD	22.705	22.705	22.705	22.705	22.705	22.705	22.705	22.705	22.705	22.705
Egresos totales			22.710									
Producción de energía												
Energía eléctrica producida		MWh	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158
Otros Beneficios												
Energía Termica producida		MWh	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158
Retorno por el calor	20	USD/MWh	3.160	3.160	3.160	3.160	3.160	3.160	3.160	3.160	3.160	3.160
Ventas de biofertilizantes			30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Ingreso por venta biofertilizante	1	USD/t	30									
Bonos de Carbono CERs			61	61	61	61	61	61	61	61	61	61
Ingreso por venta CERs	5	USD/t	304									
Ingresos adicionales totales		USD	3.494									

