



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

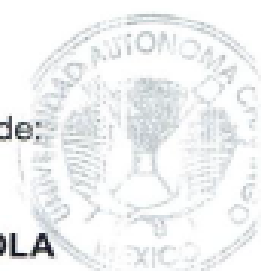
DIVISIÓN DE CIENCIAS ECONÓMICO ADMINISTRATIVAS

**ANÁLISIS ECONÓMICO Y AMBIENTAL POR EL USO DE BIODIGESTORES Y
MOTOGENERADORES EN EL ESTADO DE PUEBLA**

T E S I S

Que como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS EN ECONOMÍA AGRÍCOLA



RECTOR GENERAL ACADÉMICO
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMINACIONES PROFESIONALES

Presenta:

JOSÉ APOLONIO VENEGAS VENEGAS

Chapingo, México, Diciembre 2014.



ANÁLISIS ECONÓMICO Y AMBIENTAL POR EL USO DE BIODIGESTORES Y MOTOGENERADORES EN EL ESTADO DE PUEBLA

Tesis realizada por **José Apolonio Venegas Venegas**, bajo la dirección del comité asesor indicado, aprobada y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

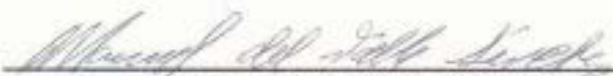
DOCTOR EN CIENCIAS EN ECONOMÍA AGRÍCOLA

Director:



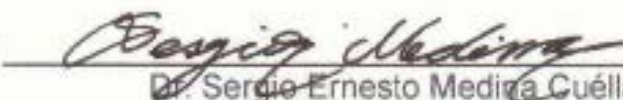
Dr. Arturo Perales Salvador

Asesor:



Dr. Manuel del Valle Sánchez

Asesor:



Dr. Sergio Ernesto Medina Cuéllar

Lector Externo:



Dr. Carlos Macías Uribe

DEDICATORIA

A mis padres Francisco Venegas Peralta y Adelaida Venegas Venegas por todo lo que me han dado.

A mi esposa Laura Margarita Martínez Hernández por todo su apoyo y comprensión. Te quiero mucho.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo por darme la oportunidad de continuar con mi formación profesional. Especialmente a la División de Ciencias Económico-Administrativas.

Al Dr. Arturo Perales Salvador por todo su apoyo brindado, por sus consejos y orientación en mi investigación.

Al Dr. Manuel del Valle Sánchez por sus acertados consejos, por la motivación brindada y sugerencias para concluir mi trabajo de investigación.

Al Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO) por darme las facilidades, por la información proporcionada y por la orientación en mi investigación. Especialmente al MVZ Octavio Alfonso Montufar Avilez.

Al ingeniero Fernando Cisneros por su amabilidad, disponibilidad y acertadas sugerencias.

Al ingeniero Eusiano Cuaquentzi Xochicale por todo el apoyo brindado.

Al M.C. Miguel Torres Bernal por sus sugerencias.

Al Dr. Carlos Macías Uribe por las sugerencias para la mejora en mi investigación.

Al Dr. Sergio Ernesto Medina Cuellar por todos sus consejos durante mi estancia en el doctorado.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico durante mis estudios de doctorado.

DATOS BIOGRÁFICOS

Maestro en Ciencias en Economía, por el Colegio de Postgraduados, en el año 2004. Lic. en Administración de Empresas Agropecuarias, por la Universidad Autónoma Chapingo, en el año 2000.

Ha participado como ponente en 5 congresos internacionales y 1 nacional en la temática de energía renovable.

Ha participado en varios proyectos sobre competitividad y evaluación de programas gubernamentales.

Cuenta con 3 publicaciones en capítulo de libro con ISBN.

Cuenta con 1 artículo publicado en revista con ISSN en trámite.

Ha participado como asesor en dos tesis a nivel maestría.

ABREVIATURAS UTILIZADAS

B/C: Relación Beneficio-Costo

BTU: Unidades Térmicas Británicas

CMNUCC: Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático

CH₄: Metano

CO₂e: Dióxido de Carbono equivalente

EIA: Energy Information Administration

EPA: Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de América

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

FIRCO: Fideicomiso de Riesgo Compartido

GEI: Gases de efecto Invernadero

Gg: Gigagramos

GWP: Potencial de Calentamiento Global

ICAITI: Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial

INECC: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático

INEGI: Instituto Nacional de Estadística y Geografía

IPCC: Panel Intergubernamental de Cambio Climático

Kw: Kilo Watt

KWh: Kilo Watt hora

MCF: Factor de Corrección de Metano

MDL: Mecanismo para un Desarrollo Limpio

M2M: Iniciativa Metano a Mercados

Mt: Millones de toneladas métricas

MW: Mega Watt

N₂O: Óxido Nitroso

ONU: Organización de las Naciones Unidas

pH: Potencial de hidrógeno

PJ: Petajoules)

Ppm: Partes por millón en volumen

PNUMA: Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente

PyMES: Pequeña y Mediana Empresa

SAGARPA: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.

SEMARNAT: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

SENER: Secretaría de Energía

SIAP: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera

SV: Sólidos Volátiles

TIF: Tipo Inspección Federal

TIR: Tasa Interna de Retorno

TRH: Tiempo de Retención Hidráulica

TMCA: Tasa Media de Crecimiento Anual

VAN: Valor Actual Neto

ANÁLISIS ECONÓMICO Y AMBIENTAL POR EL USO DE BIODIGESTORES Y MOTOGENERADORES EN EL ESTADO DE PUEBLA

José Apolonio Venegas Venegas¹, Arturo Perales Salvador²

RESUMEN

En la actualidad el uso desmedido de combustibles de origen fósil para la generación de energía está causando graves daños al medio ambiente por la concentración excesiva de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Hay preocupación mundial y organismos internacionales han impulsado proyectos de energía renovable a partir de la entrada en vigor del protocolo de Kyoto en 2005. En particular algunas granjas porcinas están logrando competitividad sobre la base de utilizar tecnologías limpias para producir su propia energía, esto favorece un ambiente laboral sano y sobre todo el cuidado del medio ambiente a través de la reducción de emisión de gases de efecto invernadero. En 2006 la SAGARPA promueve proyectos de generación de energía eléctrica con biogás, esto ha permitido el repunte en el empleo de energía limpia en la actividad pecuaria de México. En la presente investigación se analiza el potencial de generación de biogás, reducción de CO₂e y potencial de generación de energía eléctrica para los principales municipios productores de cerdo en Puebla. También se analiza la factibilidad financiera para diferentes tamaños de granja 500, 1000, 2000, 3000 y 5000 cerdos. Puebla es el tercer productor de carne de cerdo en canal en México y presenta la mejor tasa de crecimiento en los últimos años en relación a los principales estados productores en México. Las granjas porcinas de la entidad tienen un enorme potencial para transformar sus desechos en energía calórica y eléctrica y de esta manera ser competitivas en costos de producción.

Palabras clave: Biogás, energía, emisiones, granja, competitividad.

ABSTRACT

Today, excessive use of fossil fuels for power generation, the main contributor of greenhouse gases (GHG), is causing serious damage to the environment. There is worldwide concern, and international agencies have promoted renewable energy projects since the entry into force of the Kyoto Protocol in 2005. In particular, some pig farms are achieving competitiveness by using clean technologies to produce their own energy. This promotes a healthy work environment and, especially, care of the environment through reducing greenhouse gas emissions. Since 2006 the SAGARPA has promoted the use of biogas for producing electricity. This has allowed a rise in the use of clean energy in the México's livestock sector. In this research, the potential for biogas generation, reduced CO₂e, and potential power generation for major pork producing municipalities in Puebla is analyzed. Financial feasibility for different farm sizes (500, 1000, 2000, 3000 and 5000 pigs) was also analyzed. Puebla is the third largest producer of pork carcass in Mexico and, of the main producing states, has had the highest growth rate in recent years. The pig farms in the state have enormous potential for transforming their waste into heat and electricity and thus be competitive in production costs.

Keywords: Biogas, energy, emissions, farm, competitiveness.

¹Tesista

² Director de tesis

CONTENIDO

ÍNDICE GENERAL

ABREVIATURAS UTILIZADAS	I
RESUMEN	III
ABSTRACT	III
CONTENIDO	IV
ÍNDICE GENERAL.....	IV
ÍNDICE DE CUADROS.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I CAMBIO CLIMÁTICO.....	8
1.1 Consideraciones iniciales y consecuencias fundamentales.....	8
1.2 Repercusiones económicas.....	14
1.3 Reacción mundial sobre cambio climático	15
1.4 Efecto invernadero.....	18
1.5 Emisión Mundial de CO ₂	23
1.6 Emisiones de GEI en México.....	25
CAPITULO II FUENTES DE ENERGÍA.....	29
2.1 Fuentes de energía en México.....	29
2.2 Energías renovables.....	31
2.3 Biodigestores.....	36
2.4 Biogás.....	40
2.5 Motogeneradores	49
CAPITULO III PRODUCCIÓN DE CARNE DE CERDO.....	54
3.1 Producción Mundial.....	54
3.2 Producción Nacional.....	55
3.3 Comercio exterior de carne de porcino fresca, refrigerada o congelada.....	57
3.4 Competitividad de la empresa.....	59
CAPITULO IV MARCO METOLOGICO.....	64

4.1 Base Metodológica para contabilizar gases de efecto invernadero.....	64
4.2 Estimación de metano.....	66
4.3 Metodología para la estimación de CO ₂ e.....	70
4.4 Metodología para determinar el potencial de generación de energía eléctrica.....	71
4.5 Indicadores de factibilidad financiera.....	71
4.6 Presupuestos para sistema biodigestor-motogenerador para diferentes tamaños de granja.....	75
CAPITULO V SITUACIÓN ACTUAL DE GENERACIÓN DE BIOGÁS EN GRANJAS PORCINAS Y POTENCIAL EN PUEBLA.....	82
5.1 Situación antes de apoyos de FIRCO en Puebla.....	82
5.2 Situación de los proyectos después de los apoyos por FIRCO.....	85
5.3 Motogeneradores apoyados por FIRCO.....	87
5.4 Ahorro de las granjas en costos de energía eléctrica	89
5.5 Potencial de generación de biogás para los principales municipios de cerdo en Puebla.....	91
5.6 Potencial de reducción de emisiones de CO ₂ e para Puebla.....	94
5.7 Potencial de generación de energía eléctrica para Puebla.....	97
5.8 Análisis de factibilidad financiera para diferentes tamaños de granja.....	97
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	103
BIBLIOGRAFÍA.....	105
ANEXOS.....	112
Anexo 1 Anexo I de la CMNUCC.....	112
Anexo 2 Anexo A del Protocolo de Kyoto.....	114
Anexo 3 Anexo B del Protocolo de Kyoto.....	116
Anexo 4 Ley para el aprovechamiento de energías renovables y el financiamiento de la transición energética.....	118

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Número de proyectos registrados por año ante la junta ejecutiva del MDL.....	18
Cuadro2. Los gases de efecto invernadero y algunas de sus características.....	19
Cuadro 3. GEI por categoría de emisión para México 2010 (Gg de CO ₂ e).....	25
Cuadro 4. Emisiones de GEI de la categoría de Agricultura por fuente (Gg de CO ₂ e).....	27
Cuadro 5. Consumo de energía para generación eléctrica en el sistema eléctrico nacional (petajoules).....	30
Cuadro 6. Instrumentos de planeación del sector energético en los cuales se incluyen metas de participación de energías renovables.....	36
Cuadro 7. Composición química del biogás.....	42
Cuadro 8. Equivalencias energéticas del biogás.....	43
Cuadro 9. Tiempo de retención según temperatura (días).....	44
Cuadro 10. Datos del Generador.....	51
Cuadro 11. Datos técnicos del motor.....	52
Cuadro 12. Capacidad de generación de energía eléctrica para distintos tipos de motogeneradores (kW).....	52
Cuadro 13. Producción de carne de cerdo a nivel mundial (Toneladas).....	54
Cuadro 14. Exportaciones Mexicanas de Carne de Porcino Fresca, Refrigerada o Congelada 2002-2007 (Toneladas).....	58
Cuadro 15. Importaciones de Carne de Porcino fresca, refrigerada o congelada 2002-2007 (Toneladas).....	58
Cuadro 16. Viejos y nuevos énfasis en la administración de las fincas y agronegocios.....	62
Cuadro 17 Principales municipios productores de cerdo en Puebla (Cabezas).....	69
Cuadro 18. Potencial de generación de biogás de los principales municipios productores de cerdo en Puebla (m ³ año ⁻¹).....	70
Cuadro 19. Presupuesto del sistema biodigestor-motogenerador para una granja de 500 cerdos (\$).....	76
Cuadro 20. Presupuesto del sistema biodigestor-motogenerador para una granja de 1000 cerdos (\$).....	77
Cuadro 21. Presupuesto del sistema biodigestor-motogenerador para una granja de 2000 cerdos (\$).....	78
Cuadro 22. Presupuesto del sistema biodigestor-motogenerador para una granja de 3000 cerdos (\$).....	79
Cuadro 23. Presupuesto del sistema biodigestor-motogenerador para una granja de 5000 cerdos (\$).....	80
Cuadro 24. Tarifas promedio para la zona sur de México (\$ kWh ⁻¹).....	90
Cuadro 25. Análisis de rentabilidad para granja de 500 cerdos (Miles de pesos).....	98
Cuadro 26. Análisis de rentabilidad para granja de 1000 cerdos (Miles de pesos).....	99
Cuadro 27. Análisis de rentabilidad para granja de 2000 cerdos (Miles de pesos).....	100
Cuadro 28. Análisis de rentabilidad para granja de 3000 cerdos (Miles de pesos).....	101

Cuadro 29. Análisis de rentabilidad para granja de 5000 cerdos (Miles de pesos).....	102
--	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Anomalía observada en el promedio mundial de temperaturas en superficie, terrestres y oceanográficas combinadas, 1850-2012.....	12
Figura 2. Concentraciones atmosféricas de CO ₂ desde el año 1000 al 2100.....	21
Figura 3. Consumo mundial de energía por combustible (cuatrillones de unidades térmicas Británicas Btu).....	23
Figura 4. Países con mayor contribución de emisiones de CO ₂ por quema de combustible fósil de 1980 a 2011 (Mt CO ₂).....	24
Figura 5. Emisiones del Sector Agrícola en México por Subcategoría, (% 2010)	28
Figura 6 Consumo de energía para generación eléctrica en el sistema eléctrico nacional (Centrales de Autogeneración % 2013).....	31
Figura 7. Esquema de reacciones de la digestión anaeróbica de materiales poliméricos.....	41
Figura 8. Beneficios asociados a la generación y al aprovechamiento del biogás.....	48
Figura 9. Micro gas turbine: scheme (left), thermodynamical process (right).....	50
Figura 10. Principales Productores de carne de cerdo en canal en México Período 2001-2011 (Toneladas).....	55
Figura 11. Producción Disponible, Importaciones y Demanda de carne de cerdo en capote en México 2009 - 2012 (Miles de Toneladas).....	57
Figura 12. Producción de biogás de granjas que ya contaban con biodigestor antes de los apoyos de FIRCO (m ³ año ⁻¹).....	83
Figura 13. Reducción de emisiones de granjas que ya contaban con biodigestor antes de los apoyos de FIRCO (Ton CO ₂ e).....	84
Figura 14. Producción de Biogás después de los apoyos por FIRCO (m ³ año ⁻¹)....	85
Figura 15. Reducción de emisiones de los proyectos apoyados por el FIRCO (Ton CO ₂ e año ⁻¹).....	86
Figura 16. Producción de energía eléctrica de motogeneradores apoyados por el FIRCO (KW año ⁻¹).....	88
Figura 17. Ahorro en energía eléctrica de los proyectos de FIRCO (\$ año ⁻¹).....	91
Figura 18. Potencial de generación de biogás de los principales municipios productores de cerdo el en Estado de Puebla (Miles m ³ año ⁻¹).....	93
Figura 19. Potencial de producción de biogás para diferentes tamaños de granja (m ³ año ⁻¹).....	94
Figura 20. Reducción de emisiones para el Estado de Puebla (Ton CO ₂ e).....	95
Figura 21. Potencial de reducción de CO ₂ e para diferentes tamaños de granja (Ton CO ₂ e año ⁻¹).....	96
Figura 22. Potencial de generación de Energía Eléctrica en el Estado de Puebla (MW año ⁻¹).....	97

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

El hombre desde su aparición en la tierra ha utilizado su medio para obtener energía. Desde las primeras civilizaciones y hasta nuestros días, la leña ha sido la principal fuente de energía. Posteriormente en la edad media el hombre emplea la energía mecánica con los molinos de agua y viento; además emplea carbón vegetal para la aleación de metales.

Con el desarrollo de la máquina de vapor en el siglo XVIII, el hombre emplea grandes cantidades de carbón mineral.

Posteriormente en el siglo XIX con el desarrollo del motor de combustión interna y la producción creciente de petróleo, el mundo se hace dependiente de derivados del petróleo. En la actualidad no hay un sustituto del petróleo para satisfacer la cantidad de energía mundial.

La utilización del biogás se remonta aproximadamente a unos 3000 años antes de Cristo. Hay evidencias escritas que en Persia ya se utilizaba el biogás en el siglo XVI.

Es en el siglo XVII varios científicos entre los que destaca Jan Baptista Van Helmont descubren que el biogás es producido por descomposición de materia orgánica y comienzan con su aplicación práctica. A finales de este siglo científicos ingleses y franceses vislumbraron una aplicación del biogás para utilizarlo como iluminación y calefacción.

Con la primera crisis del petróleo en 1973, donde los precios de combustibles fósiles son muy volátiles, países dependientes del petróleo buscan alternativas para satisfacer sus necesidades de energía y disminuir su dependencia en el petróleo. Además con las evidencias científicas que mostraron que la actividad económica derivada de la utilización de combustibles fósiles genera gases de efecto invernadero causantes del cambio climático, científicos alrededor del mundo desarrollan tecnología limpia con el empleo de energía renovable como la hidráulica, eólica y biomasa. Esta situación impulsó el desarrollo de energías renovables como la generación del biogás.

A mediados del siglo XIX en Europa se comienzan a desarrollar varios proyectos de biodigestores sin tener éxito por los bajos precios de combustibles fósiles. En la década de 1960 y 1970 países como la India, Taiwán y China comienzan a desarrollar el uso de biodigestores para aprovechar su potencial energético.

En el presente siglo los principales países productores de energía térmica a base de biogás son Japón, Estados Unidos, Alemania, Italia, Dinamarca, Polonia y Australia.

Justificación e importancia

El gobierno de México a través de la SAGARPA está impulsando desde el 2006 el aprovechamiento del biogás generado por biodigestores en condiciones anaeróbicas. Abre la oportunidad para que granjas porcinas, establos lecheros y rastros promuevan proyectos para que puedan aprovechar estas energías renovables. Además de que estos proyectos que son sustentables tienen la oportunidad de ser financiados por organismos públicos y privados.

Con el desarrollo de tecnologías renovables, en particular con el aprovechamiento del biogás, los desechos de las granjas se pueden utilizar para producir energía calórica que se puede utilizar directamente en cocinas para la cocción de alimentos y con un motogenerador alimentado por biogás se puede generar energía eléctrica.

México tiene un gran potencial para generar energía por medio de energías renovables y al igual que otros países en desarrollo puede aprovechar esta situación que le favorecerá para cuidar el medio ambiente.

Las granjas porcinas representan una de las actividades pecuarias con mayor importancia económica en todo el mundo. Desafortunadamente el número de granjas porcinas ha reducido, sobre todo las pequeñas. Esta situación se puede explicar por el elevado costo de los insumos para la producción. En la actualidad toda empresa de cualquier sector tiene que ser competitiva para permanecer en el mercado, es por ello que tiene que buscar estrategias que le permitan hacer más eficiente su actividad y que le permita permanecer en el mercado. La utilización de energía renovable abre la oportunidad para que las empresas puedan ser autosuficientes en la energía que utilizan y de esta forma ser competitivas en costos, además de contribuir al cuidado del medio ambiente.

La preocupación internacional sobre todo de países desarrollados llevo a que Organismos internacionales como la ONU creara en 1972 el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, siguió con la creación del Panel Intergubernamental de Cambio Climático establecido en 1988 por la Organización Meteorológica Mundial (WMO, World Meteorological Organization) y el Programa Ambiental de las Naciones Unidas (UNEP, United Nations Environment Programme) , así como la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático en 1992 donde se presentaron algunos esfuerzos de países industrializados para disminuir sus emisiones de gases de efecto invernadero.

Pero es hasta el protocolo de Kyoto donde hay compromisos firmados para reducir emisiones de gases de efecto invernadero. El protocolo de Kyoto es una iniciativa de 1997 que entra en vigor en 2005.

El uso de energías alternativas comenzó su desarrollo a mediados de los años setentas cuando diversos centros de investigación en el mundo buscaron aprovechar la energía solar y sus diversas manifestaciones, se desarrollaron equipos operados con energías renovables. Actualmente estas energías son más eficientes en términos energéticos económicos y favorecen con el cuidado del medio ambiente.

En la actualidad el uso de biodigestores permite aprovechar los desechos orgánicos de las unidades de producción para la generación de energía calórica y eléctrica, además de favorecer el ahorro de energía en estas unidades, la utilización de esta tecnología favorece a la eliminación de malos olores, dispersión de plagas y enfermedades y la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

Planteamiento del problema

El uso de combustibles fósiles causa severos daños al medio ambiente, además de que su precio es muy volátil debido a la incertidumbre de los mercados, a crisis económicas mundiales, a conflictos bélicos, entre otras causas. Por otra parte son recursos no renovables que algún día se agotaran. Las unidades de producción pecuaria tienen una gran importancia en todo el mundo por todos los productos y subproductos que se derivan de esta actividad misma que es proveedora para la nutrición humana. Pero haciendo un análisis desde el punto de vista medio

ambiental, las excretas de animales producen contaminación del agua, del suelo y del aire, convirtiéndose en un problema de salud pública. Pero con el uso de biodigestores este problema se convierte en una alternativa de energía.

Diversos estudios científicos en los últimos años han demostrado que la actividad humana es la principal causa del cambio climático, esta situación ha provocado una situación de incertidumbre en el mundo, hay preocupación sobre todo de países desarrollados que han tomado la iniciativa para tratar de mitigar los efectos de la contaminación ambiental.

La actividad económica del hombre a partir de la revolución industrial con la utilización excesiva de combustibles fósiles como el petróleo, carbón mineral y el gas natural ha provocado una concentración excesiva de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), entre otros, que son los principales causantes del cambio climático. Es una situación de alarma debido a que los daños en el medio ambiente se reflejarán en el bienestar de la actividad humana.

Los efectos del cambio climático se han manifestado en muchas regiones del planeta, donde las inundaciones, han provocado severos daños en la infraestructura de las ciudades y las comunidades rurales, además de pérdidas de cosechas y muerte de ganado de todas las especies. Por otra parte las sequías han ocasionado severos daños sobre todo en la actividad agropecuaria por la pérdida de cosechas y muerte de ganado. Los efectos del cambio climático han ocasionado pérdidas de miles de millones de dólares.

En base al Inventario Nacional de Emisiones de gases de Efecto Invernadero en su cuarto informe la agricultura generó en 2010 92,180 gigagramos de GEI que corresponden al 12.3% del total de emisiones en México, de este porcentaje el subsector ganadero emitió el 49.37%. Cabe destacar que el subsector ganadero emite metano y óxido nitroso que son 21 y 296 veces respectivamente más dañinos que el CO_2 de acuerdo al Panel intergubernamental de Cambio Climático. Por esta situación el empleo de biodigestores representa una opción muy importante para la reducción de emisiones de GEI en la actividad pecuaria.

Objetivos

- Analizar la importancia económica y ambiental por el uso de biodigestores y motogeneradores en la actividad porcícola en el estado de Puebla.
- Analizar la rentabilidad del uso de biodigestor y motogenerador para diferentes tamaños de granja.
- Analizar el impacto ambiental en relación a la disminución de CO₂e que representa el uso de biodigestor y motogenerador en el estado de Puebla.

Hipótesis

- El empleo de biodigestores y motogeneradores representa una alternativa fundamental para la competitividad en costos de granjas porcinas.
- El empleo de biodigestores y motogeneradores en la actividad pecuaria es una alternativa viable que favorece al cuidado del medio ambiente por la reducción en la emisión de gases de efecto invernadero.

Metodología

Se analizaron aspectos como la situación mundial de emisiones de CO₂ por la quema de combustibles de origen fósil para la generación de energía y el daño que causa esta situación en el medio ambiente. Las categorías de emisión de GEI en México y el contexto que representa la agricultura. Además de las acciones que han impulsado organismos internacionales para tratar de contrarrestar las emisiones de efecto invernadero. Así como el papel que juegan las energías renovables y el uso de biodigestores en la actividad pecuaria. Se analizó el contexto que tiene la actividad porcícola a nivel mundial, así como la importancia de la producción de carne de cerdo en la economía mexicana.

El presente estudio se realizó para el estado de Puebla debido a que en los últimos diez años, el estado ha tenido la tasa de crecimiento anual más importante dentro de los principales productores de carne de cerdo en México. La metodología empleada para el cálculo de la generación de metano está basada en el número de cabezas. Por lo que para el análisis se utilizó información del Censo Agrícola Ganadero y Forestal 2007 como base. Se analizan los once principales municipios productores

de cerdo en el estado de Puebla por contar con el mayor número de cabezas en la entidad.

En la parte que corresponde al análisis del cuidado del medioambiente. Se empleó la metodología AM0016 “Greenhouse gas mitigation from improved Animal Waste Management Systems in confined animal feeding operations” (CCNUCC, 2004) dicha metodología mide la reducción de CO₂e en sistemas de manejo de desechos de animales. Para la implementación de esta metodología se consideran las estimaciones de metano.

Para medir el potencial de generación de energía eléctrica se empleó la metodología de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de América (EPA, 2006). Donde se consideraron los factores de eficiencia de la conversión de metano a electricidad y eficiencia en línea.

El análisis de factibilidad financiera se realizó en base a la metodología de evaluación de proyectos (Baca, 2001) donde se analizan indicadores como Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y Relación Beneficio Costo (B/C).

Para este análisis se consideraron los presupuestos del costo de sistema completo biodigestor-motogenerador para los diferentes tamaños de granja. Se consideró un biodigestor de 670 m³ con un motogenerador de 10 kW para granjas de 500 cerdos; un biodigestor de 1,450 m³ con motogenerador de 30 kW para granjas de 1,000 cerdos; biodigestor de 2,700 m³ con motogenerador de 30 kW para granjas de 2,000 cerdos; biodigestor de 4,100 m³ con motogenerador de 60 kW para granjas de 3,000 cerdos; y biodigestor de 6,846 m³ con motogenerador de 60 kW para granjas de 5,000 cerdos.

Además se consideraron como ingresos, el ahorro por energía eléctrica y la venta de biofertilizante.

Para el análisis de factibilidad financiera los criterios utilizados fueron: el Valor Actual Neto mayor a cero (VAN). La Tasa Interna de Retorno (TIR) superior a la tasa de actualización que fue del 12%. Y la Relación Beneficio-Costo (B/C) que resultó mayor a 1.

La investigación consta de cinco capítulos, en el primero de ellos se contempla un panorama general sobre el cambio climático. Desde sus causas y consecuencias sobre el planeta; repercusiones económicas y la postura internacional. Además un panorama sobre las emisiones de gases de efecto invernadero causados por la generación de energía.

El capítulo segundo trata sobre fuentes de energía en México, se analizan las principales fuentes para la generación de energía eléctrica, la importancia del empleo de energías renovables. Por otra parte se analiza la situación del empleo de biodigestores en la actividad pecuaria de México y los beneficios derivados por la utilización del biogás. Además de la situación general del empleo de motogeneradores en México que utilizan biogás.

El capítulo tercero trata sobre la producción de carne de cerdo, se presenta un panorama sobre la producción mundial; así como de los principales estados productores en México. Además se analiza el comercio exterior de México en relación a la carne de porcino fresca, refrigerada o congelada. Por otra parte se hace una breve descripción sobre la competitividad de los agronegocios.

En el capítulo cuarto se describe la metodología que se utilizó para estimar el metano y biogás; el potencial de generación de energía eléctrica y reducción de CO₂e de los principales municipios productores de cerdo en el estado de Puebla. Así como la metodología utilizada para el análisis financiero de los diferentes tamaños de granja porcina propuestos.

En el capítulo quinto se analiza la situación de los motogeneradores y sistemas de biodigestion que están operando en Puebla. Se presentan dos escenarios antes y después de los apoyos de FIRCO que comenzaron en 2008. Se analiza la generación de biogás con los biodigestores y generación de energía eléctrica, así como de reducción de CO₂e derivado de los proyectos promovidos por FIRCO. De igual manera se presenta el potencial que tienen los principales municipios productores de cerdo en relación a biogás, generación de energía eléctrica y reducción de CO₂e. Finalmente se analiza la factibilidad financiera para diferentes tamaños de granja.

CAPÍTULO I CAMBIO CLIMÁTICO

1.1 Consideraciones iniciales y consecuencias fundamentales

Uno de los principales problemas del mundo en la actualidad se debe al problema de calentamiento global que trae como consecuencia el cambio climático. El hombre ha sobreexplotado los recursos debido a sus necesidades de energía, pero esta situación ha provocado graves daños al medio ambiente.

Por "cambio climático" se entiende un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables (Organización de las Naciones Unidas, 1992: 3).

El clima depende de un gran número de factores que interactúan de manera compleja. A diferencia del concepto tradicional de clima, como el promedio de alguna variable, hoy en día se piensa en este como un estado cambiante de la atmósfera, mediante sus interacciones con el mar y el continente, en diversas escalas de tiempo y espacio. Cuando un parámetro meteorológico como la precipitación o la temperatura sale de su valor medio de muchos años, se habla de una anomalía climática ocasionada por forzamientos internos, como inestabilidad en la atmósfera y/o el océano; o por forzamientos externos, como puede ser algún cambio en la intensidad de la radiación solar recibida o incluso cambios en las características del planeta (concentración de gases de efecto invernadero, cambios en el uso del suelo, etc.) resultado de la actividad humana (Magaña, 2004: 17).

Los estudios realizados por diversos científicos en los últimos años conducen a una situación de alarma para el planeta, en los próximos años se presentarán climas más extremos y fenómenos climáticos más intensos. Se manifestarán veranos más cálidos y un desequilibrio en los patrones de los ciclos de lluvia, en algunas partes del planeta las lluvias serán más intensas, mientras que en otras regiones poca frecuencia o nula, aumentando con esto las sequías. Los estudios han encontrado como causa principal del cambio climático a la acción del hombre, es decir, la actividad económica que ha llevado a un uso excesivo de combustibles fósiles como

el petróleo, carbón, gas natural y por la pérdida excesiva de superficie boscosa en el planeta.

Ningún sustituto del petróleo ha sido desarrollado, ni de hecho, ni a la escala de demanda energética requerida; y la mayoría de las “energías alternativas” experimentadas son de desempeño y eficiencia pobre. La economía futura deberá ser enseñada en las universidades desde una perspectiva biofísica y social; porque los límites del crecimiento los impone la naturaleza y no los modelos económicos neoclásicos teóricos soportados por tecnología y economía de mercado (Yáñez-Arancibia, Day y Hall 2010: 81).

Sin lugar a dudas la creciente necesidad que tiene el hombre por buscar satisfacer sus necesidades de energía ha llevado al planeta a un punto de descontrol que se manifiesta en cambios radicales jamás vistos en siglos pasados. Además la falta de cultura ambiental permite que la población alrededor del mundo no tenga una cultura en el cuidado del medio ambiente.

El cambio climático ha tenido un impacto notable en el planeta en los últimos años y de acuerdo al IPCC 2007, presenta los siguientes efectos:

Los cambios a escala regional abarcan:

- Un calentamiento máximo sobre tierra firme y en la mayoría de las latitudes septentrionales altas, y mínimo sobre el océano austral y partes del Atlántico Norte, como continuación de recientes tendencias observadas.
- La contracción de la superficie de las cubiertas de nieve, en la mayor profundidad de deshielo en la mayoría de las regiones de permafrost, y en la menor extensión de los hielos marinos. Los hielos marinos de la región ártica desaparecerían casi completamente al final de los veranos en los últimos años del siglo XXI.
- Muy probablemente aumentará la frecuencia de los valores extremos cálidos, de las olas de calor y de las precipitaciones intensas.
- Probablemente aumentará la intensidad de los ciclones tropicales; menor confianza en que disminuya el número de ciclones tropicales en términos mundiales.

- Desplazamiento hacia los polos de las trayectorias de las tempestades extratropicales, con los consiguientes cambios de las pautas de viento, precipitación y temperatura.
- Muy probablemente aumentarán las precipitaciones en latitudes altas, y probablemente disminuirán en la mayoría de las regiones terrestres subtropicales, como continuación de las tendencias recientemente observadas.

De igual manera el IPCC 2007. Pronostica que algunos ecosistemas, sectores y regiones resultarán afectados por el cambio climático.

- Probables ecosistemas afectados:
 - Terrestres: tundra, bosques boreales y regiones montañosas, debido a su sensibilidad al calentamiento; ecosistemas de tipo Mediterráneo, debido a la disminución de las lluvias; y bosques pluviales tropicales en que la precipitación disminuye.
 - Costeros: manglares y marismas, debido a múltiples factores de estrés.
 - Marinos: arrecifes de coral, debido a múltiples factores de estrés; el bioma de los hielos marinos, debido a su sensibilidad al calentamiento.
- Los recursos hídricos de ciertas regiones secas de latitudes medias y en los trópicos secos, debido a la alteración de las precipitaciones de lluvia y de la evapotranspiración, y en áreas dependientes de la nieve y del deshielo.
- La agricultura en latitudes medias, debido a una menor disponibilidad de agua.
- Los sistemas costeros bajos, debido al peligro de aumento del nivel del mar y al mayor riesgo de fenómenos meteorológicos extremos.
- La salud humana, en poblaciones con escasa capacidad adaptativa.

Regiones:

- La región ártica, debido a los impactos de la gran rapidez del proyectado calentamiento sobre los sistemas naturales y las comunidades humanas.
- África, debido a su escasa capacidad adaptativa y a los impactos del cambio climático proyectados.

- Las islas pequeñas en que las poblaciones y las infraestructuras estarían muy expuestas a los impactos del cambio climático.
- Los grandes deltas de Asia y África, por ser regiones muy pobladas y expuestas al aumento del nivel del mar, a las mareas de tempestad y a las crecidas fluviales.

Cambios observados en el sistema climático

Las observaciones del sistema climático se basan en mediciones directas y en la teledetección desde satélites y otras plataformas. Las observaciones de la temperatura y otras variables a escala mundial comenzaron a efectuarse en la era instrumental, a mediados del siglo XIX, y desde 1950 existen conjuntos de observaciones más completos y diversos. Las reconstrucciones paleoclimáticas aportan registros que se remontan a siglos o millones de años. Conjuntamente, proporcionan una visión global de la variabilidad y los cambios a largo plazo en la atmósfera, los océanos, la criosfera y la superficie terrestre (IPCC, 2013: 2)

En los siguientes puntos se presentan datos sobre cambios observados en el sistema climático como son: en la atmósfera, los océanos, la criosfera, el nivel del mar, el ciclo del carbono y otros ciclos biogeoquímicos (IPCC, 2013: 3-9).

La atmósfera

Los datos de temperatura de la superficie terrestre y oceánica, combinados y promediados globalmente, calculados a partir de una tendencia lineal, muestran un calentamiento de 0,85 [0,65 a 1,06] °C³, durante el período 1880-2012, para el que se han producido de forma independiente varios conjuntos de datos (ver figura 1).

³ En la contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación, la incertidumbre se mide utilizando intervalos de incertidumbre del 90%, salvo que se especifique otra cosa. Los intervalos de incertidumbre del 90%, expresados entre corchetes, tienen previsiblemente un 90% de probabilidad de abarcar el valor estimado. Los intervalos de incertidumbre no son necesariamente simétricos en torno a la mejor estimación correspondiente. Asimismo, se da la mejor estimación de ese valor cuando se dispone de ella.

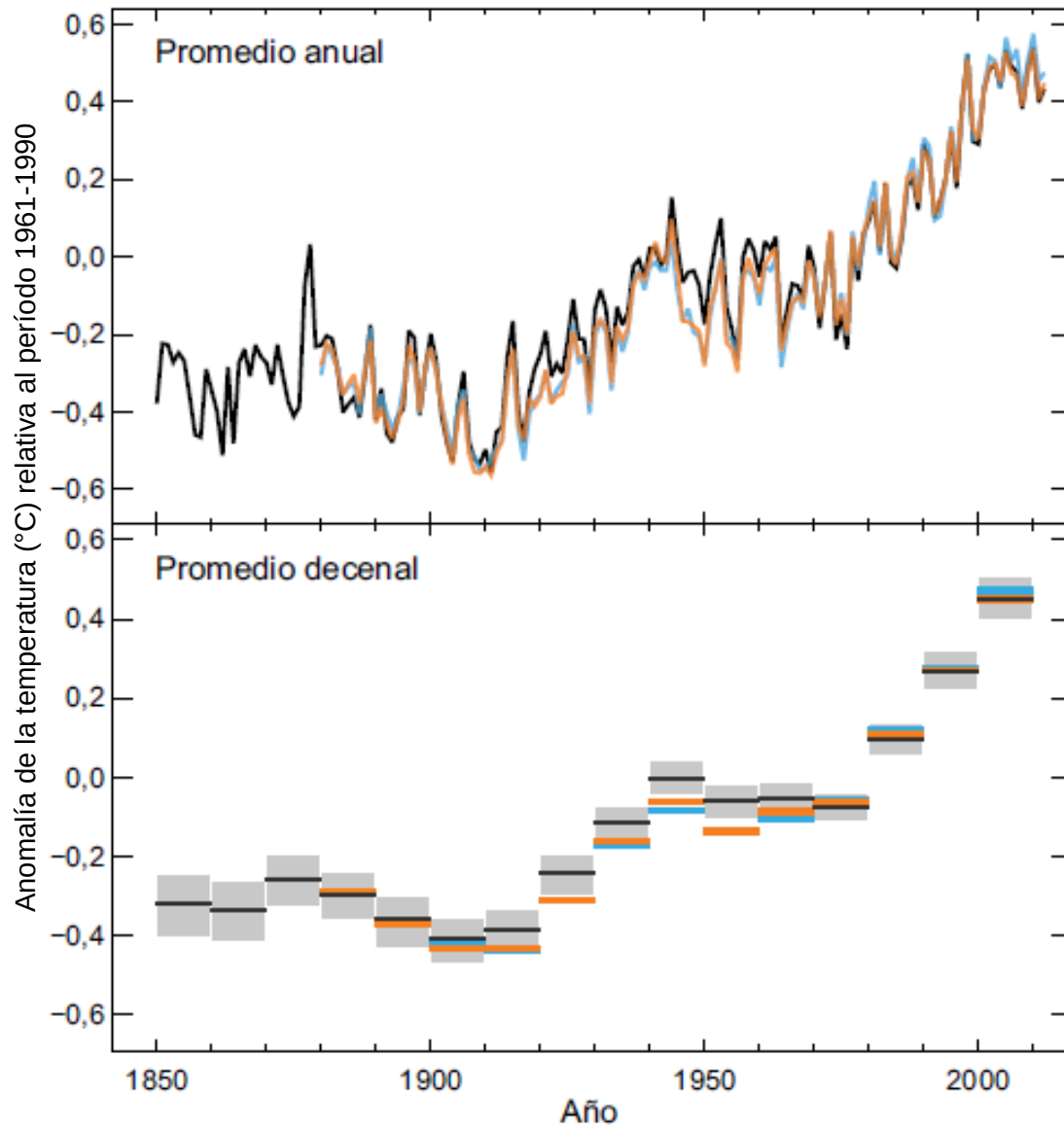


Figura 1. Anomalía observada en el promedio mundial de temperaturas en superficie, terrestres y oceanográficas combinadas, 1850-2012

Anomalías observadas en el promedio mundial de temperaturas en superficie, terrestres y oceánicas combinadas, desde 1850 hasta 2012, a partir de tres conjuntos de datos. Imagen superior: valores medios anuales. Imagen inferior: valores medios decenales, incluida la estimación de la incertidumbre para un conjunto de datos (línea negra). Las anomalías son relativas a la media del período 1961-1990. La línea naranja muestra las tendencias en la temperatura determinadas por regresión lineal de un conjunto de datos.

Debido a la variabilidad natural, las tendencias basadas en períodos de registros cortos son muy sensibles a las fechas de inicio y final, y no reflejan en general las

tendencias climáticas a largo plazo. Por ejemplo, la tasa de calentamiento durante los últimos 15 años (0,05 [-0,05 a 0,15] °C por decenio, entre 1998 y 2012), que comienza con un fuerte efecto del fenómeno El Niño, es menor que la tasa registrada desde 1951 (0,12 [0,08 a 0,14] °C por decenio, entre 1951 y 2012)⁴.

Los océanos

A escala mundial, el calentamiento del océano es mayor cerca de la superficie. Los 75 metros superiores se han calentado en 0,11 [0,09 a 0,13] °C por decenio, durante el período comprendido entre 1971 y 2010.

Más del 60% del incremento neto de energía en el sistema climático se ha almacenado en la capa superior del océano (0-700 metros) durante el período relativamente bien muestreado de 40 años, entre 1971 y 2010, y aproximadamente el 30% se ha almacenado en el océano por debajo de 700 metros.

La criosfera

En los dos últimos decenios, los mantos de hielo de Groenlandia y la Antártida han ido perdiendo masa, los glaciares han continuado menguando en casi todo el mundo y el hielo del Ártico y el manto de nieve en primavera en el hemisferio norte han seguido reduciéndose en extensión. Es muy probable que el ritmo de la pérdida de hielo⁵ de los glaciares en todo el mundo, excepto los glaciares situados en la periferia de los mantos de hielo⁶, haya sido en promedio de 226 [91 a 361] Gt/año⁻¹ durante el período 1971-2009, y de 275 [140 a 410] Gt/año⁻¹, durante el período 1993-2009⁷.

El nivel del mar

Desde mediados del siglo XIX, el ritmo de la elevación del nivel del mar ha sido superior a la media de los dos milenios anteriores. Durante el período 1901-2010, el nivel medio global del mar se elevó 0,19 metros [0,17 a 0,21 metros].

⁴ Las tendencias para períodos de 15 años que empiezan en 1995, 1996 y 1997 registran unos 0,13 [0,02 a 0,24] °C por decenio, 0,14 [0,03 a 0,24] °C por decenio, y 0,07 [-0,02 a 0,18] °C por decenio, respectivamente.

⁵ Todas las referencias a la "pérdida de hielo" o "pérdida de masa" indican pérdida neta de hielo, es decir, acumulación menos hielo derretido y icebergs desprendidos.

⁶ Por motivos metodológicos, en esta evaluación de la pérdida de hielo de los mantos de hielo de la Antártida y de Groenlandia se tiene en cuenta el cambio en los glaciares de la periferia. Por tanto, esos glaciares periféricos se excluyen de los valores dados para los glaciares.

⁷ 100 Gt/año⁻¹ de pérdida de hielo equivale a aproximadamente 0,28 mm/año⁻¹ de la elevación media mundial del nivel del mar.

Es muy probable que la tasa media de elevación promediada mundial del nivel del mar haya sido de 1,7 [1,5 a 1,9] mm/año⁻¹, entre 1901 y 2010, de 2,0 [1,7 a 2,3] mm/año⁻¹, entre 1971 y 2010, y de 3,2 [2,8 a 3,6] mm/año⁻¹, entre 1993 y 2010. Los datos recogidos con mareógrafos y altímetros satelitales coinciden en que en este último período la tasa fue más alta. Es probable que también se registraran tasas altas entre 1920 y 1950.

El ciclo del carbono y otros ciclos biogeoquímicos

En los últimos 800,000 años, las concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso han aumentado a niveles sin precedentes. Las concentraciones de dióxido de carbono han aumentado en un 40% desde la era preindustrial debido, en primer lugar, a las emisiones derivadas de los combustibles fósiles y, en segundo lugar, a las emisiones netas derivadas del cambio de uso del suelo. Los océanos han absorbido alrededor del 30% del dióxido de carbono antropógeno emitido, provocando su acidificación.

Las concentraciones atmosféricas de los gases de efecto invernadero, a saber, el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O), han aumentado desde 1750 debido a la actividad humana. En 2011, las concentraciones de estos gases de efecto invernadero eran de 391 ppm⁸, 1,803 ppmm y 324 ppmm, respectivamente, valores que excedían los niveles preindustriales en aproximadamente el 40%, el 150% y el 20%, respectivamente.

1.2 Repercusiones económicas

Los efectos que provocará el cambio climático en el futuro afectarán directamente la vida de los seres humanos, el hombre se enfrentará al problema de satisfacer las necesidades de energía, de la seguridad alimentaria y al suministro de agua dulce. El problema de cambio climático afectará a toda la población mundial, pero sobre todo a los países más pobres de América Latina y de África, afectando a su población en condiciones más desfavorables.

⁸ Las unidades de medida "ppm" (partes por millón) o "ppmm" (partes por mil millones) representan la relación que existe entre el número de moléculas de gas y el número total de moléculas de aire seco. Por ejemplo, "300 ppm" significa que hay 300 moléculas de un gas por cada millón de moléculas de aire seco.

En los últimos años las consecuencias económicas del cambio climático son más asentadas, en países que son afectados, los gobiernos gastan miles de dólares para restablecer daños ocasionados en infraestructura, vías de comunicación y para restablecer actividades del sector primario y de servicios.

Los efectos del cambio climático en un futuro no muy lejano representaran un serio problema para la vida del ser humano en el planeta tierra. Es necesario cambiar la forma de pensar y hacer conciencia sobre el papel que tiene el hombre en la tierra. El hombre es parte de la naturaleza y como tal tiene que implementar ahora medidas que puedan permitir un aprovechamiento óptimo de su medio, sin dañar o causar un daño mínimo en la naturaleza, para asegurar de cierta forma la vida de generaciones futuras.

Todos los gobiernos deben invertir en educación ambiental desde los primeros años de la etapa escolar, además de fomentar campañas publicitarias en relación al cuidado del medio ambiente. Por otra parte los gobiernos deben cambiar la legislación y castigar a las personas físicas y morales que ocasionen daños al medio ambiente. De esta forma se creará conciencia entre la población y los costos económicos pueden disminuir.

1.3 Reacción mundial sobre cambio climático

En las últimas décadas el problema sobre el medio ambiente ha cobrado importancia entre la comunidad internacional, evidencias científicas han demostrado que la actividad humana ha influido en el deterioro del medio ambiente.

Con el creciente problema de deterioro ambiental la Organización de las Naciones Unidas (ONU), se planteó el objetivo de buscar el “desarrollo sustentable”, esto significa buscar el mayor desarrollo de los pueblos sin poner en peligro el medio ambiente. Para ello se creó, en 1972, el programa de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente (PNUMA), el cual promueve actividades medioambientales y crea conciencia entre la población sobre la importancia de cuidar el medio ambiente.

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático

En mayo de 1992 en la sede de las Naciones Unidas en la ciudad de Nueva York, se aprueba el documento de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático.

En la Cumbre tierra de Río de Janeiro, en junio de 1992 la Convención Marco de las Naciones Unidas fue firmada por 155 países. Entra en vigor el 21 de marzo de 1994, y hasta el 5 de mayo de 2006 contaba con 189 países partes.

Protocolo de Kyoto

Hasta antes del Protocolo de Kyoto solo había esfuerzos sobre todo de países industrializados por tratar de reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero. Pero es en el protocolo de Kyoto donde se firman acuerdos de reducción de emisiones por parte de dichos países. A partir del 2005 cuando entra en vigor el Protocolo se despierta una conciencia social para cuidar el medio ambiente por los conocidos Bonos de Carbono⁹, que de cierta forma fueron los que motivaron la implementación de proyectos alrededor del mundo para reducir las emisiones de GEI.

Como parte del proceso de negociación del Protocolo, que los países desarrollados se responsabilizaran con compromisos cuantificados y diferenciados de reducción de sus emisiones pero al mismo tiempo y como parte del complejo proceso de negociación y al efecto de facilitar el cumplimiento de los compromisos de los países del Anexo I, se aprobaron tres mecanismos, identificados informalmente como los mecanismos de flexibilidad, que les permiten reducir sus emisiones con un menor costo (PNUMA y SEMARNAT, 2006: 24).

Estos mecanismos son:

- -Implementación Conjunta: Mecanismo que prevé que un país cualquiera del Anexo I financie el desarrollo de proyectos dirigidos a la reducción de las emisiones (o al incremento de las absorciones) de GEI, en cualquier otro país,

⁹ Los bonos de carbono son un instrumento económico contemplado en el Protocolo de Kioto. Cada bono de carbono equivale a una tonelada de bióxido de carbono equivalente (ton CO₂ eq.) que ha sido dejada de emitir a la atmósfera. <http://cambioclimatico.inecc.gob.mx/preguntasfrecuentes/protocolodekiotoymdosdebonos.htm>

también del Anexo I. Las reducciones que se logren como resultado de la aplicación del proyecto serán acreditadas al país inversor.

- -Comercio de Derechos de Emisiones: Mecanismo por el cual se establece la compra-venta de créditos de carbono logrados por diferentes vías, entre países pertenecientes al Anexo I. La vía más clara para la obtención de los mencionados créditos, y al mismo tiempo la más deseada desde el punto de vista ambiental, es aquella en que un país del Anexo I logra niveles de reducción de sus emisiones de GEI, por encima de sus compromisos cuantificados de reducción ante el Protocolo.
- -Mecanismo para un Desarrollo Limpio (MDL): Considera la posibilidad de que un país del Anexo I, financie actividades de proyecto en un país en desarrollo, dirigidas a la reducción de las emisiones o al incremento de las absorciones de GEI. De los tres mecanismos incluidos en el Protocolo de Kyoto, este es el único que prevé la participación de los países en desarrollo.

Las Partes incluidas en el anexo I se asegurarán, individual o conjuntamente, de que sus emisiones antropógenas agregadas, expresadas en dióxido de carbono equivalente, de los gases de efecto invernadero enumerados en el anexo A no excedan de las cantidades atribuidas a ellas, calculadas en función de los compromisos cuantificados de limitación y reducción de las emisiones consignados para ellas en el anexo B. Con miras a reducir el total de sus emisiones de esos gases a un nivel inferior en no menos de 5% al de 1990 en el período de compromiso comprendido entre el año 2008 y el 2012 (ONU, 1998: 3).

MDL para México

El *Mecanismo para un Desarrollo Limpio (MDL)*. Al 31 de agosto de 2012, de manera acumulada se habían registrado 144 proyectos y tres MDL programáticos. La reducción esperada de estos proyectos asciende a 12.8 MtCO₂e/año. De manera acumulada 44 de dichos proyectos han obtenido Reducciones Certificadas de Emisiones por 16.4 MtCO₂e. En particular, de enero de 2007 a agosto de 2012 se registraron 72 proyectos MDL en 11 categorías diferentes, de los cuales 16 ya se

encuentran recibiendo Reducciones Certificadas de Emisiones (SEMARNAT, 2012: 10). La distribución de estos proyectos por año se ilustra en el cuadro a continuación:

Cuadro 1. Número de proyectos registrados por año ante la junta ejecutiva del MDL

Año	Número de proyectos registrados en MDL
2007-2011	64
1er semestre 2012	7
Agosto 2012	1
Total	72

Fuente: SEMARNAT 2012.

Para fomentar grandes avances tecnológicos, las inversiones en investigación y desarrollo básicos (I + D) necesitan ser aumentadas de manera importante. Precios de carbono proporcionaría algunos de los incentivos necesarios. Por ejemplo, una trayectoria de precios que estabilizaría la concentración de CO₂ a largo plazo en 450 ppm y la concentración global de GEI en alrededor de 550 ppm CO₂eq es estimado para conducir un aumento de cuatro veces en los gastos de energía en Investigación y desarrollo en 2050, con relación a un escenario donde no se fija el precio del carbono (Burniaux, Chateau, Duval, & Jamet, 2008).

1.4 Efecto invernadero

El nombre efecto invernadero proviene de su similitud con las instalaciones construidas para cultivar plantas en un ambiente más cálido que el exterior; dado que el techo de un invernadero tiene la misma propiedad de dejar de entrar radiación solar y bloquear la terrestre generada en su interior. Algunos autores dicen que el nombre de efecto invernadero no es el más adecuado, pues un invernadero se calienta más por impedir la convección que por atrapar la radiación, y sugieren que se llame más bien efecto atmósfera (Garduño, 2004: 31).

Los gases efecto invernadero, están constituidos por tres o más átomos; los forman moléculas diatómicas (como el O₂ y el N₂) o monotómicas son transparentes a la radiación terrestre. Los más importantes son el vapor de agua (H₂O) y el bióxido de

carbono (CO₂); los demás GEI (CH₄, NO_x), CFCs, etc.) Se llaman gases traza (GT) por su presencia ínfima en la atmósfera (Hardy, 1986).

La concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera ha aumentado debido a la actividad económica mundial y al ritmo de crecimiento de la población en los últimos años.

Los gases de efecto invernadero

Por "gases de efecto invernadero" se entiende aquellos componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropógenos, que absorben y remiten radiación infrarroja. (ONU, 1992: 4).

Cuadro 2. Los gases de efecto invernadero y algunas de sus características

VARIABLE	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFC-23	CF ₄	SF ₆
Tiempo de vida en la atmósfera (años)	5- 200	12	114	260	> 50000	3600
Forzamiento radiactivo W m ⁻²	1.46	0.48	0.15	0.002	0.0003	0.002
Potencial de Calentamiento global, 1 PCG.	1	23	296	12000	5700	22200

Fuente: IPCC 2001.

La radiación solar atraviesa la atmósfera y llega a la superficie (continente y océano), que la absorbe. Entonces la superficie se calienta y emite radiación terrestre, la cual es absorbida por el vapor de agua y el CO₂ contenidos en la atmósfera. Como esta radiación va de abajo hacia arriba y los gases absolvedores se atenúan (más rápido el vapor que el CO₂) en la misma dirección, también la radiación terrestre va distribuyendo más o menos en el mismo sentido (Hardy, 1986).

Emisiones de CO₂

El comportamiento mundial de emisiones de CO₂ ha tenido un crecimiento acelerado en los últimos doscientos sesenta años. Este crecimiento se puede atribuir fundamentalmente al crecimiento industrial a partir del año 1750. Antes de la

revolución industrial la concentración de dióxido de carbono era de 280 miligramos por metro cúbico mg/m^3 o partes por millón (IPCC, 2002).

De acuerdo a (Foley, 2010) la concentración actual en la atmósfera de CO_2 es de 387 ppm (partes por millón en volumen). Su recomendación es una concentración de 350 ppm para que el planeta este alejado del punto de inflexión climático a largo plazo.

La tendencia excesiva en el uso de combustibles de origen fósil para generar energía es preocupante, aun no hay un sustituto equiparable al petróleo para satisfacer la demanda mundial de energía. Las proyecciones de concentración de CO_2 a la atmósfera para finales del siglo XXI son alarmantes.

De acuerdo al IPCC 2001, se pronostica que la concentración de CO_2 para el año 2100 será de 490 y 1260 ppm (ver figura 2).

Escenarios sobre la concentración de CO_2 en el futuro

Las seis familias de los escenarios descritos en el IPCC Tercer Informe de Evaluación (TIE).

La familia de escenarios A1 se caracteriza por:

- El rápido crecimiento económico.
- Una población mundial que llega a 9000 millones en 2050 y luego disminuye poco a poco.
- La rápida difusión de las nuevas tecnologías.
- Un mundo convergente, los ingresos y forma de vida convergen entre las regiones. Amplias interacciones sociales y culturales en todo el mundo.

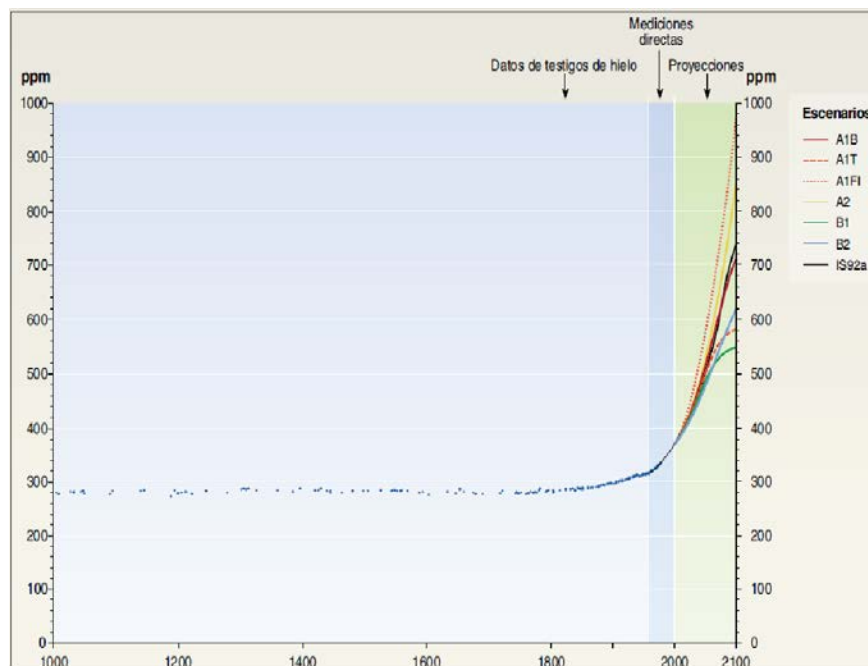


Figura 2. Concentraciones atmosféricas de CO₂ desde el año 1000 al 2100

Fuente: IPCC 2001

Nota: A partir de datos de testigos de hielo y mediciones atmosféricas directas durante los últimos decenios. Las proyecciones sobre concentraciones de CO₂ durante el período 2000–2100 están basadas en los seis escenarios del IEE y el IS92a.

Hay subgrupos A1 a la familia basada en su orientación tecnológica:

A1FI: Un énfasis intensivo en los combustibles fósiles.

A1B: Un énfasis equilibrado en todas las fuentes de energía.

A1T: Énfasis en las fuentes de energía no fósiles.

La familia de escenarios A2 se caracteriza por:

- Un mundo de forma independiente de operación, las naciones autosuficientes.
- Aumento constante de población.
- El desarrollo económico regional orientado.

Los escenarios B1 son de un mundo más integrado y más ecológico. Los escenarios B1 se caracterizan por:

- El rápido crecimiento económico como en A1, pero con cambios rápidos hacia un servicio y economía de la información.

- Aumento de la población de 9 mil millones en 2050 y luego disminuyendo a medida que en A1.
- Las reducciones en la intensidad material y la introducción de tecnologías limpias y de recursos de tecnologías eficientes.
- Un énfasis en las soluciones globales para la estabilidad económica, social y ambiental.

Los escenarios B2 son de un mundo más dividido, pero más ecológico. Los escenarios B2 se caracterizan por:

- Aumento constante de población, pero a un ritmo más lento que en A2.
- Énfasis en el local en lugar de soluciones globales para la estabilidad económica, social y ambiental.
- Los niveles intermedios de desarrollo económico.
- El cambio tecnológico menos rápido y más fragmentado que en A1 y B1.

IS92a: La tasa de emisión de azufre en el futuro se basa en el escenario IS92a

Combustibles líquidos en su mayoría a base de petróleo siguen siendo la mayor fuente de energía (figura 3), la participación de líquidos en el consumo de energía comercializada en el mundo disminuirá de 34 por ciento en 2008 a 29 por ciento en 2035. Según proyecciones de los altos precios del petróleo mundial, esto conduce a que muchos usuarios de energía cambien los combustibles líquidos cuando sea posible. La energía renovable tiene el más rápido crecimiento en el mundo y su uso incrementará de 10% en 2008 a 14% en 2035 (Energy Information Administration, 2011: 1).

En el mundo existe gran demanda de energía la cual seguirá creciendo en los próximos años, el mundo seguirá utilizando la mayor parte de energía de combustibles fósiles.

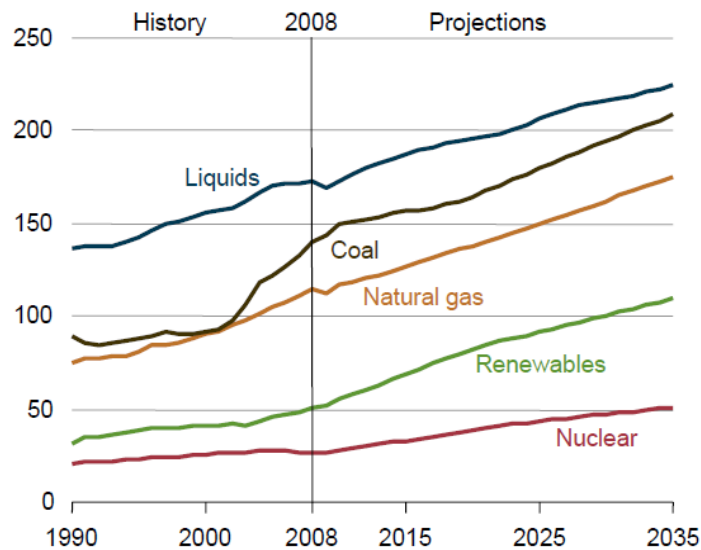


Figura 3. Consumo mundial de energía por combustible (cuatrillones de unidades térmicas Británicas Btu)

Fuente: EIA 2011

El empleo de energías renovables ha cobrado gran importancia a nivel mundial en los últimos años y representan una de las alternativas de mayor aceptación mundial para el mejoramiento de las condiciones medioambientales.

1.5 Emisión Mundial de CO₂

Uno de los principales problemas del mundo en los últimos años es la contaminación ambiental. Las evidencias científicas que mostraron que la concentración excesiva de gases denominados de efecto invernadero contribuye al calentamiento global, alertaron a los principales organismos internacionales para tratar de buscar alternativas para que se trate de reducir el quemado de combustibles de origen fósil para la generación de energía, los cuales son los más dañinos al medio ambiente.

El gas de efecto invernadero con mayor concentración en la atmósfera es el CO₂, el cual se toma como referencia para medir otros gases de efecto invernadero en CO₂ equivalente.

El quemado de combustibles de origen fósil en los últimos años ha incrementado de forma considerable debido a la producción de bienes y servicios que demanda el mundo en la actualidad.

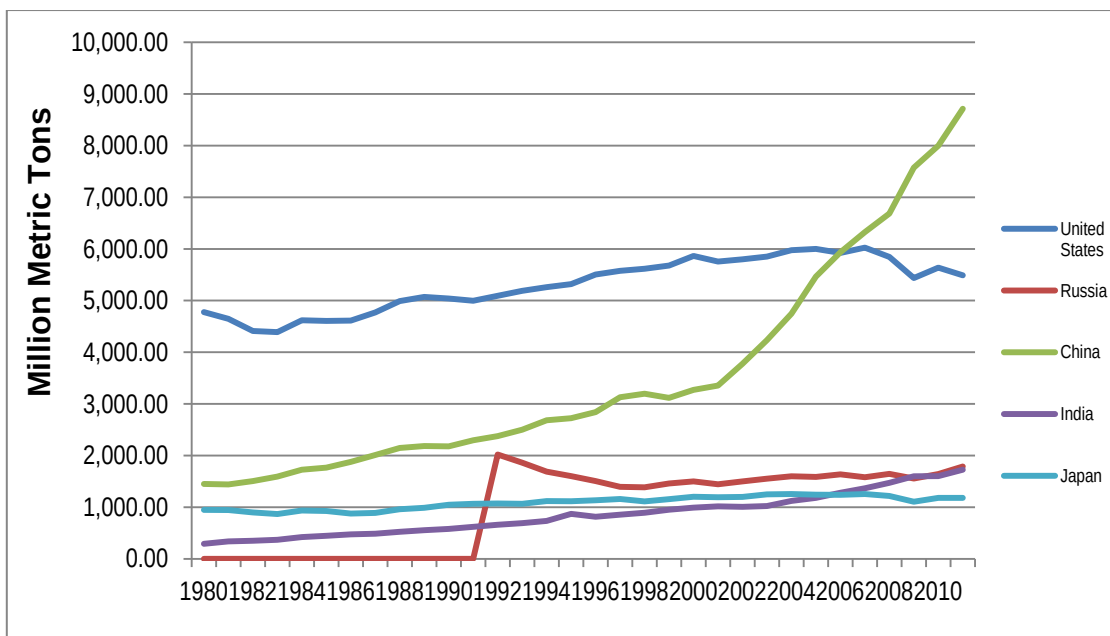


Figura 4. Países con mayor contribución de emisiones de CO₂ por quema de combustible fósil de 1980 a 2011 (Mt CO₂)

Fuente: Elaboración propia con datos de Energy Information Administration. www.eia.gov

* Antes de 1992 Rusia pertenecía a la URSS, a partir de 1992 los datos presentados son como república independiente.

China es el primer contaminador de CO₂ en el mundo por la quema de combustibles fósiles, en 2011 emitió 8,715.31 millones de toneladas métricas de CO₂ las cuales representaron el 26.75% del total de emisiones en el mundo para ese año; China presentó una tasa media de crecimiento anual del 5.96% en el período de 1980-2011. En segundo lugar se encuentra Estados Unidos con el 16.85% del total de emisiones en 2011 y con una TMCA del 0.45% en el período de 1980-2011. Seguido por Rusia, India y Japón respectivamente, estos tres países generaron el 14.41% de la emisión total mundial de CO₂ a la atmósfera en 2011 (ver figura 4).

A partir de datos de Energy Information Administration¹⁰ se establece que México ocupa el décimo tercer lugar en emisión de CO₂ a la atmósfera por la quema de combustibles de origen fósil. En 2011 sus emisiones representaron el 1.42% del total mundial, mientras que en el período de 1980-2011 presentó una TMCA del 2.13%.

¹⁰US. Energy Information Administration (EIA). (2014). www.eia.gov

1.6 Emisiones de GEI en México

El panorama que tiene México de emisiones de los seis Gases de Efecto Invernadero establecidos en el Anexo A del protocolo de Kyoto para el 2010 presenta cifras importantes. El total de emisiones nacionales de GEI para México en 2010 fue de 748,252 Gigagramos¹¹ (ver cuadro 3).

Cuadro 3. GEI por categoría de emisión para México 2010 (Gg de CO₂e)

Categoría de Emisión	CO₂	CH₄	N₂O	HFC	PFC	SF₆	Total Gg de CO₂e
Energía	405,130	84,966	13,722				503,818
Procesos Industriales	42,081	70	130	18,692	128	124	61,227
Agricultura		39,247	52,937				92,184
Cambio de uso de suelo y silvicultura	45,670	1,110	113				46,892
Desechos	569	41,323	2,238				44,131
Total de Emisiones Nacionales	493,451	166,717	69,140	18,692	128	124	748,252

Fuente: SEMARNAT e INECC (2012).

El Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en su cuarto informe destaca cinco categorías de emisión, siendo la más representativa en este rubro la de energía, misma que representa el 67.33% del total de emisiones de GEI para México en 2010. Es importante destacar que la segunda categoría lo representa la agricultura con el 12.32%.

Por otra parte el gas de efecto invernadero más importante en relación a las emisiones por parte de México lo representa el CO₂ con un total de 493,451 Gigagramos de CO₂, mismos que representaron para 2010 el 65.95% del total de GEI emitidos a la atmósfera. En segundo lugar lo representa el CH₄ con el 22.28% y en tercer lugar el Óxido Nitroso con el 9.24%.

Es importante destacar que la actividad agropecuaria de nuestro país tiene una importante contribución a la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera.

¹¹ 1 Gigagramo = 1000 Toneladas

Las emisiones totales de la agricultura para 2010 fueron de 92,183 Gigagramos de CO₂e. Para el período de 1990 a 2010 las emisiones totales para este sector presentaron una tasa media de crecimiento anual de -0.03%.

El subsector cultivos emitió en 2010 un total de 46,670 Gigagramos de CO₂e, las cuales representaron el 50.63% del total de GEI de la categoría agrícola, mientras que el subsector ganadero emitió 45,515 Gigagramos de CO₂e, las cuales representaron el 49.37%.

Emisión de GEI de la categoría agrícola en México

Las emisiones de gases de efecto invernadero tiene más relación con la quema de combustibles fósiles que generan industrias, el transporte, la minería; además la tala de bosques, quemado de basura, etc.

Sin embargo la ganadería contribuye de manera muy considerable en la emisión de metano (CH₄) uno de los gases de efecto invernadero que es 21 veces más dañino que el CO₂.

El metano proveniente de la ganadería se debe a dos causas fundamentales, una es llamada fermentación entérica que es el proceso natural que ocurre dentro del aparato digestivo de los rumiantes. Por otro lado también el manejo de estiércol de la actividad pecuaria contribuye a la emisión de metano.

Dentro de las subcategorías del sector agrícola la fermentación entérica de ganado doméstico, la cual es un proceso natural representó el 41.2% de las emisiones de CO₂e. Es importante destacar que esta subcategoría durante el período de 1990 a 2010 presentó una Tasa Media de Crecimiento Anual de -0.11%.

Por otra parte la subcategoría suelos agrícolas representaron el 50.4% de las emisiones de CO₂e, además presentaron para el período 1990 a 2010 una TMCA de 0.03%.

Cuadro 4. Emisiones de GEI de la categoría de Agricultura por fuente (Gg de CO₂e)

Año	Subsector Ganadero		Subsector cultivos			Emisiones totales agricultura
	Fermentación entérica de ganado doméstico	Manejo del estiércol	Quema de residuos agrícolas	Suelos agrícolas	Cultivo de arroz	
1990	38,802.60	7,428.10	40.8	46,204.30	310.1	92,785.90
1991	38,554.00	7,261.90	39.2	44,932.20	254.2	91,041.50
1992	37,869.00	7,140.00	42.5	44,431.00	294.7	89,777.20
1993	37,346.80	7,367.40	43.8	45,260.80	166.3	90,185.10
1994	37,068.50	7,331.90	41.4	45,102.60	247.6	89,792.00
1995	36,593.10	7,251.50	45.3	44,120.00	237.3	88,247.20
1996	35,457.60	7,033.10	45.4	43,488.80	242.4	86,267.30
1997	35,856.90	7,159.10	45.6	43,562.70	322.5	86,946.80
1998	36,145.40	7,118.80	48.6	43,954.70	267.2	87,534.70
1999	35,297.10	7,040.90	46.4	43,558.60	218	86,161.00
2000	35,810.10	7,125.20	43.6	43,855.90	224.8	87,059.60
2001	35,938.60	7,145.10	47.1	44,416.80	136.8	87,684.40
2002	36,784.00	7,263.50	47.1	44,640.20	131.1	88,865.90
2003	36,798.70	7,225.40	49	44,822.80	160.1	89,056.00
2004	36,616.20	7,267.80	50.1	45,142.90	167.1	89,244.10
2005	36,274.60	7,244.20	53.2	45,003.50	170.1	88,745.60
2006	36,431.30	7,280.80	51.6	45,048.40	187.8	88,999.90
2007	36,725.70	7,332.80	53.6	45,339.20	184	89,635.30
2008	37,111.50	7,391.50	52.6	45,301.20	134.5	89,991.30
2009	37,635.20	7,479.30	50.2	46,182.20	156.9	91,503.80
2010	37,961.50	7,553.50	52	46,479.80	137.8	92,184.60

Fuente: SEMARNAT e INECC (2012).

Los sistemas de biodigestión están contribuyendo a que se presenten importantes reducciones de metano a la atmósfera debido al manejo de estiércol. Cabe destacar que las emisiones por manejo de estiércol del subsector ganadero representaron el 8.2% de la categoría agricultura en 2010 (ver figura 5).

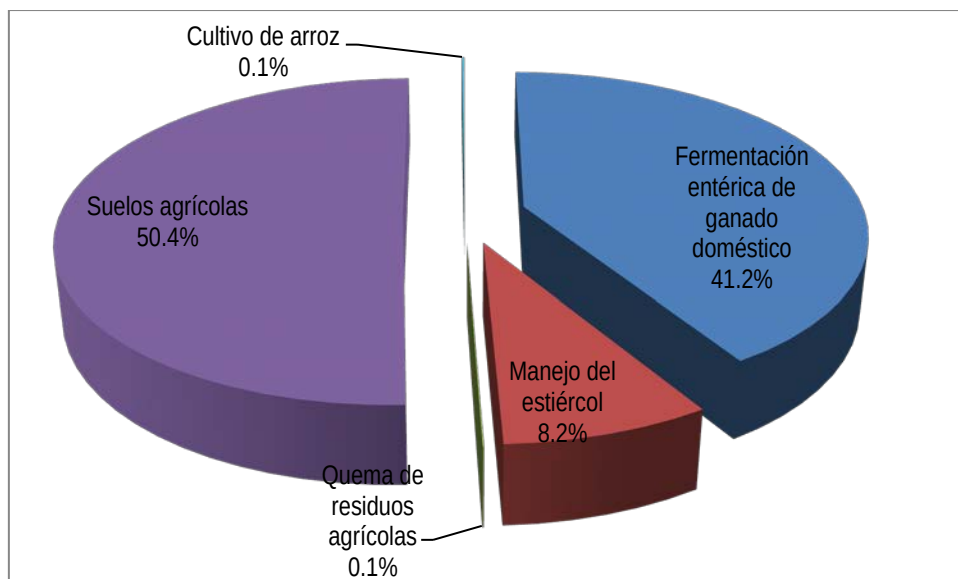


Figura 5. Emisiones del Sector Agrícola en México por Subcategoría (% 2010)

Fuente: Elaboración propia con datos de SEMARNAT e INECC (2012).

Por lo que el impulso de este tipo de tecnologías está contribuyendo favorablemente a la reducción no solo de emisiones de GEI, sino de reducción de malos olores, fauna y flora nociva, así como problemas de salud de los empleados de granjas y establos lecheros y población que se encuentra cerca de las unidades de producción.

CAPITULO II FUENTES DE ENERGÍA

2.1 Fuentes de energía en México

La generación de energía en las últimas décadas es una de las grandes preocupaciones mundiales debido a que en su mayoría para su generación se emplean grandes cantidades de combustibles de origen fósil.

La energía es la capacidad de los cuerpos de producir trabajo, y puede presentarse en diferentes formas como la calorífica, el movimiento, la química o la eléctrica. Para producir energía eléctrica necesitamos una fuente primaria, ya que la electricidad que se encuentra en la naturaleza no puede ser explotada comercialmente. Las fuentes primarias de energía más utilizadas en la actualidad son el gas natural, el carbón, el petróleo, la nuclear y las fuentes renovables (Blanco, 2004).

El crecimiento de la población mundial en la última centuria ha sido insólito: se estima que en el año 1930 era de 2,000 millones de personas, para el año 1960 de 3,000 millones y en solo 39 años, esto es en 1999 se duplicó a 6,000 millones. Actualmente es más de 7,000 millones y se estima que para el año 2030 seremos 8,000 millones de seres humanos en el planeta. Este crecimiento poblacional está estrechamente relacionado con el crecimiento de la demanda de energía mundial (Estrada, 2013).

Generación de energía eléctrica por tecnología

Las tres principales fuentes de energía que México utiliza para la generación de energía eléctrica para el sistema eléctrico nacional son: gas natural con el 51.77%, combustóleo con el 15.85% y carbón mineral con el 12.98% para el año 2013 (ver cuadro 5).

El mundo seguirá siendo dependiente de derivados del petróleo para contrarrestar la demanda de energía.

En los últimos años el empleo de energía renovable ha cobrado gran importancia. Organismos públicos y privados han impulsado el empleo de energía limpia lo que ha contribuido con reducciones importantes de emisiones de gases de efecto invernadero.

Cuadro 5. Consumo de energía para generación eléctrica en el sistema eléctrico nacional (petajoules)

Descripción	2010	2011	2012	2013	Promedio*	Porcentaje*	TMCA*
Total	2,301	2,510	2,523	2,618	2,488	100	4.39
Carbón mineral	346	384	365	340	359	12.98	-0.56
Nucleoenergía	64	106	91	123	96	4.68	24.23
Hidroenergía	132	131	115	101	120	3.84	-8.70
Geoenergía	150	149	133	131	141	5.02	-4.32
Energía eólica, solar y biogás	6	8	15	23	13	0.88	57.55
Diésel	17	20	29	29	24	1.10	20.42
Combustóleo	372	421	463	415	418	15.85	3.76
Gas natural	1,123	1,203	1,216	1,355	1,224	51.77	6.47
Bagazo de caña	50	48	53	60	53	2.30	6.33
Coque de petróleo	35	32	38	36	35	1.38	1.19
Gas licuado	0	3	1	0	1	0.01	80.36
Otros	7	5	4	5	5	0.18	-14.10

Fuente: Sistema de Información Energética con información del Balance Nacional de Energía, SENER. (Consultado 20-10-2014). <http://sie.energia.gob.mx>.

Nota: * Estimaciones propias.

La generación de electricidad por medio de energía renovable en México en el año 2013 representó el 9.74%. Se consideran la hidroenergía, geoenergía, energía eólica, solar y biogás.

El empleo de energía renovable como es el caso de energía eólica, solar, y biogás tienen el crecimiento más importante en los últimos cuatro años. Tienen una Tasa Media de Crecimiento anual del 57.55%. Aunque solo representan el 0.88% de la fuente energética para la generación de electricidad, tienen un potencial importante para la generación de energía en el futuro.

La generación de energía eléctrica por central de autogeneración la representa en primer lugar con el 55.91% gas natural, bagazo de caña con el 20.29% y coque de petróleo con el 12.15% (ver figura 6).

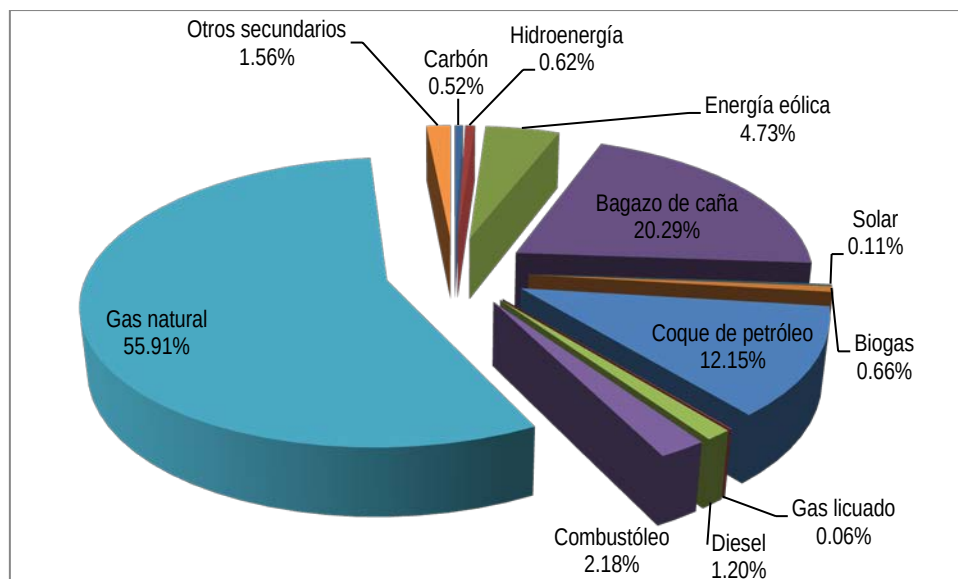


Figura 6 Consumo de energía para generación eléctrica en el sistema eléctrico nacional (Centrales de Autogeneración % 2013)

Fuente: Elaboración propia con datos del Sistema de Información Energética con información del Balance Nacional de Energía, SENER. (Consultado 20-10-2014). <http://sie.energia.gob.mx>.

Como se mencionó anteriormente la energía renovable ha cobrado gran importancia en México. Algunas Secretarías de Estado como la SAGARPA y la SENER están impulsando la implementación de proyectos de energía limpia para la generación de electricidad.

La fuente de energía renovable más importante en México es la eólica, representa el 4.73% y en el período de 2010-2013 presentó una tasa media de crecimiento anual de 53.90%. La energía solar representó el 0.11% y una tasa media de crecimiento anual de 44.37%. El biogás representó en 2013 el 0.66% y en el período de 2010 a 2013 tuvo una tasa media de crecimiento anual del 14.92% (ver figura 6).

2.2 Energías renovables

Las energías renovables comienzan su desarrollo en la década de los setenta del siglo pasado, científicos desarrollaron prototipos de equipos que funcionaban con las fuentes de energía renovable como la solar. Los investigadores han perfeccionado la eficiencia de los equipos al igual que la tecnología cada vez es más accesible al público en general en relación a su precio. Los principales países que han desarrollado tecnología renovable son Estados Unidos, Alemania, España e Israel.

Las energías renovables son aquellas cuya fuente reside en fenómenos de la naturaleza, procesos o materiales susceptibles de ser transformados en energía aprovechable por la humanidad, y que se regeneran naturalmente, por lo que se encuentran disponibles de forma continua. Las fuentes renovables de energía perduraran por miles de años (SENER, 2009: 12).

El aprovechamiento de la energía disponible de manera renovable en la naturaleza se encuentra en el origen del ser humano, cuando nuestros antepasados aprendieron a controlar el fuego, y de este modo aprovechar la energía de la biomasa. A lo largo de la historia de la humanidad, hemos aprovechado la energía de la biomasa, de la radiación solar directa, del viento, del movimiento del agua y de la geotermia de distintas maneras, y solo es a partir de la revolución industrial cuando comenzamos a utilizar a gran escala la enorme cantidad de energía contenida en recursos no renovables: carbón, petróleo, gas natural y uranio, principalmente (SENER, 2009: 14).

El agotamiento de los recursos ha sido uno de los debates más fuertes en los últimos 50 años. La imposibilidad de poder contar con energía o materia se ve influenciada con la capacidad de sustitución existente en cada paso. Por este motivo los recursos existentes en nuestro planeta se pueden subdividir en tres grandes grupos: 1) Materiales almacenados por la naturaleza (ej. Yacimientos minerales); 2) energía almacenada por la naturaleza (ej. Petróleo, carbón y gas) y 3) recursos renovables almacenados por la naturaleza (capitalizados en la energía solar disponible en los objetos bióticos existentes). Un uso sustentable de estos permite satisfacer las necesidades de las generaciones actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para cubrir las suyas (Nazetón y Tito, 2001).

Energía Solar

La energía solar consiste en el aprovechamiento de la radiación del sol para la generación de energía térmica o energía eléctrica. Es una de las formas más eficientes para la obtención de energía.

Existen cinco tecnologías fundamentales: calentamiento de agua doméstica, obtención de vapor (para la generación eléctrica o industrial), calentamiento espacial

activo, calentamiento espacial pasivo, y conversión directa: solar/electricidad. Las tres primeras involucran el uso de colectores térmicos, que comprenden desde colectores planos para el calentamiento de agua hasta parabólicos para la generación de vapor. Por lo contrario, el calentamiento pasivo es más bien materia de diseño arquitectónico y en la conversión directa en celdas fotovoltaicas, no es necesario ningún esquema colector de calor. Finalmente, combustibles alternativos como el hidrógeno se pueden obtener a partir de reacciones químicas manejadas a la luz solar o por electrólisis en celdas de combustible (Posso, 2002: 58).

El aprovechamiento de la energía solar, se realiza principalmente mediante la utilización de dos tipos de tecnologías:

- Fotovoltaicas, que convierten la energía solar en energía eléctrica con celdas fotoeléctricas, hechas principalmente de silicio que reacciona con la luz.
- Termosolares, que usan la energía del sol para el calentamiento de fluidos, mediante colectores solares, que alcanzan temperaturas de 40 a 100 °C (planos), o “concentradores” con los que se obtienen temperaturas de hasta 500 °C (SENER, 2006: 22).

Energía Eólica

La energía eólica consiste en el aprovechamiento de las corrientes de aire, su funcionamiento está basado en energía cinética proporcionada por el viento. Por medio una hélice que está conectada a un generador que convierte la energía cinética en energía eléctrica.

Hoy en día, los cambios económicos que se presentan en el ámbito global obligan a repensar las opciones energéticas que existen en el mundo moderno. El desarrollo tecnológico aunado a la conciencia ecológica de la sociedad actual, han propiciado el surgimiento y fortalecimiento de alternativas de generación de energía más amigables con el medio ambiente, que propician un desarrollo con mayor armonía en las sociedades modernas. La industria eólica en el mundo ha logrado avances significativos desde las primeras granjas de viento de última tecnología de los años ochenta a la fecha, sin embargo, la década reciente ha sido por demás relevante. Este crecimiento tiene su explicación en la situación energética mundial y en la

respuesta estratégica de gobiernos, empresas y comunidades; así mismo, el desarrollo tecnológico y los éxitos de los pioneros han motivado dicho efecto multiplicador (United States Agency International Development, 2009).

Cuando una instalación eólica necesita producir electricidad para verter a la red de distribución se agrupan varios aerogeneradores, dando lugar a los denominados parques eólicos. Si su objetivo es suministrar electricidad a puntos de consumo aislados (viviendas dispersas, granjas, explotaciones agrícolas) se utilizan equipos de pequeña potencia, en general de varias decenas de kilovatios (kW) (Espejo, 2004).

Energía Geotérmica

La energía geotérmica es el aprovechamiento de la energía generada por el calor en el interior de la tierra, las aguas subterráneas alcanzan la ebullición, con la presión del vapor de agua se emplean turbinas para la generación de electricidad, o se emplea directamente la energía calórica.

Un sistema geotérmico está constituido por tres elementos principales: Una fuente de calor, un reservorio y un fluido, el cual es el medio que transfiere el calor. La fuente de calor puede ser tanto una intrusión magmática a muy alta temperatura ($> 600^{\circ}\text{C}$), emplazada a profundidades relativamente pequeñas (5-10 km) o en sistemas de baja temperatura (Robilliard, 2009).

Los recursos de alta temperatura ($T > 200^{\circ}\text{C}$) pueden utilizarse para generar energía eléctrica, los de temperatura baja ($T < 200^{\circ}\text{C}$) para aplicaciones térmicas (SENER, 2006: 26).

Energía Hidráulica

El agua de los ríos y corrientes en su retorno a los mares y océanos como parte del Ciclo Hidrológico es el origen de la energía hidráulica, considerándose ésta como la fuente renovable por excelencia y, quizás, la forma más antigua de aprovechamiento de energía para el desarrollo de las actividades productivas de la humanidad. Su uso se fundamenta en la conversión de la energía cinética y potencial (Posso, 2002: 64).

Las centrales mini hidráulicas (<5 MW) se clasifican, según la caída de agua que aprovechan, en baja carga (caída de 5 a 20 m), media carga (caída de 20 a 100 m) y alta carga (caída mayor a 100 m). Además de la carga, se clasifican en función del embalse y del tipo de turbina que utilizan (SENER, 2006: 24).

Bioenergía

Utiliza materia orgánica como energético, por combustión directa o mediante su conversión en combustibles gaseosos como el biogás o líquidos como bioetanol o biodiesel (SENER, 2006: 24).

Tipos de Biomasa

- Biomasa natural: es la que se produce espontáneamente en la naturaleza, tales como bosques, matorrales, herbazales, etc. No es la más adecuada para un aprovechamiento energético masivo ya que puede causar una rápida degradación de los ecosistemas naturales.
- Biomasa residual: es la procedente de actividades agrícolas, ganaderas y forestales. Su utilización ofrece en principio perspectivas atractivas aunque limitadas, siendo en general más importante la descontaminación que se produce al eliminar estos residuos que la energía generada. En un ámbito local, las instalaciones como granjas, industrias papeleras y depuradoras urbanas pueden llegar a ser autosuficientes energéticamente mediante aprovechamiento de sus propios residuos.
- Biomasa de plantaciones energéticas. Los cultivos energéticos son ya una realidad en países como Brasil y Estados Unidos que enfocan la producción de caña de azúcar y maíz, respectivamente, a la obtención de etanol. En el primero, el etanol se utiliza desde 1980 con una producción anual que excede los dos billones de litros y con una eficiencia cercana al 85 %; además Brasil tiene cerca de tres millones de Ha de plantaciones de eucaliptos destinados a la fabricación de carbón vegetal. Si bien hasta ahora el principal incremento en la utilización de la biomasa como fuente de energía se ha basado en la biomasa residual, son los cultivos energéticos los considerados como la alternativa más adecuada y competitiva (Posso, 2002: 63).

Potencial de generación de energía renovable

En la última década el gobierno federal ha impulsado una serie de programas que buscan el desarrollo sustentable del país con la utilización de energías limpias con el medio ambiente.

Cuadro 6. Instrumentos de planeación del sector energético en los cuales se incluyen metas de participación de energías renovables¹².

INSTRUMENTO	METAS DE PARTICIPACION DE FUENTES DE ENERGIA RENOVABLE.	OBSERVACIONES
Estrategia nacional de energía 2009-2024.	No especifica una meta diferenciada para renovables, sólo se establece una participación del 35% de “energías limpias”.	No distingue específicamente a las fuentes de energía renovable de las “energías limpias” (incluyendo las grandes hidroeléctricas y la nuclear en esta categoría).
Prospectiva de electricidad 2010-2025.	Eolo eléctrica: 2% Geotermoelectrica: 2% Total: 4%.	Sólo se refiere a la generación bruta de electricidad para servicio público.
Programa especial para el aprovechamiento de energías renovables 2009-2012.	Eólica: 4.34% Minihidráulica: 0.77% Geotermoelectrica: 1.65% Biomasa y biogás: 0.85% Total: 7.6%.	Incluye a las energías renovables tal como están definidas en la LAERFTE.
Programa sectorial de energía 2007-2012 (Publicado en 2007).	Pequeñas hidroeléctricas: 3% Otras renovables: 6% Total: 9%.	Incluye a las energías renovables tal como están definidas en la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE).

Fuente: Greenpeace 2011:53.

2.3 Biodigestores

El empleo de biodigestores se ha convertido en una opción de competitividad para la actividad pecuaria, los desechos de las granjas se emplean para generar energía. La materia orgánica se deposita en el biodigestor y debido a condiciones anaeróbicas, temperatura y días de retención se genera el biogás cuyo componente principal y útil es el metano.

Los digestores anaeróbicos trabajan bajo el principio de que en ausencia de oxígeno las bacterias presentes en el residuo orgánico pueden descomponerlo. La digestión de la materia orgánica ocurre en cuatro etapas básicas: hidrólisis, acidogénesis,

¹² http://www.ceja.org.mx/IMG/Potencial_de_las_energias.pdf

acetogénesis y metanogénesis; en la etapa final, los compuestos intermedios formados en las etapas anteriores se rompen para formar metano, este gas (denominado biogás) es almacenado como producto principal del proceso. El biogás está compuesto por metano principalmente (del 55% al 70%) y dióxido de carbono (CO₂), además posee ácido sulfhídrico en baja cantidad y trazas de agua y monóxido de carbono (CO). La mezcla digerida (producto secundario del proceso) debe guardarse en un tanque de almacenamiento hasta que pueda ser dispuesto, normalmente como abono, para un terreno (Mantilla, 2007: 138).

Un biodigestor es una bolsa diseñada para almacenar excretas de los animales; dentro de la cual se genera el metano que es utilizado para producir energía eléctrica. Aplicando esta tecnología compatible con el medio ambiente, los productores se ahorran entre 40 mil y 80 mil pesos mensuales en materia de energía eléctrica¹³.

Tipos de biodigestores

En la construcción de biodigestores se han probado muchos tipos de construcciones, buscando mayor eficiencia en la producción y un menor costo de inversión. Entre los diseños más utilizados se encuentran los siguientes (Magaña, 2006: 29):

De alimentación continua: En este tipo de biodigestores la alimentación de la biomasa se efectúa en intervalos regulares; por razones prácticas, estos digestores son alimentados intermitentemente, esto se logra aprovechando la gravedad para la alimentación. Ejemplos de este tipo de digestores son el “Digestor Hindu” y el “Digestor Chino”.

Digestor tipo Plug flow: Diseñado por Reinhold y Noack en Darmstadt, Alemania, en la década de 1950. (Noack , 1955, citado por Magaña, 2006: 29) se construye en forma de canal horizontal con concreto reforzado en el que se depositan los residuos con alto contenido de sólidos. Cuenta con agitadores que trabajan varias veces al día.

¹³ Valdés de León Luis Carlos. MILENIO. Sábado, 19 de mayo de 2012. www.milenio.com/cdb/doc/impreso/9085570

Balón de plástico: Está compuesto de una bolsa de plástico, caucho, polietileno o geomembrana de PVC, completamente sellada. La parte inferior de la bolsa (75% de volumen) se rellena con la carga, mientras que la parte superior de la bolsa (25%) se deja como espacio para captar el biogás que se produce, el cual posteriormente es enviado a un almacén de gas fabricado también con alguno de los mencionados.

De tapón de flujo: Consiste en una zanja construida con concreto o con una membrana impermeable. El digestor se cubre con una cubierta flexible anclada al suelo, al concreto o al acero galvanizado. Estos tanques especiales son rectangulares y tratan residuos que contengan de 11% a 13% total de sólidos.

Biodigestores en México

En México se han implementado muchos proyectos para generar biogás por medio de biodigestores a partir de la firma del protocolo de Kyoto, con el Mecanismo de Desarrollo Limpio muchas empresas desarrolladoras de proyectos implementaron biodigestores para comercializar Bonos de Carbono en países sin compromiso de reducción, principalmente en vías de desarrollo.

Empresas privadas fomentaron el empleo de tecnología renovable fundamentalmente para comercializar bonos de Carbono. La empresa con mayor participación de proyectos en México es AgCert. Otras empresas son: Ecosecurities, Enviroquest Internacional, CantorCO2 y Grupo Porcícola Mexicano.

Otro organismo que promueve proyectos de biodigestión lo constituye la Iniciativa Metano a mercados (M2M) que coordina la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. La iniciativa tiene como objetivo impulsar proyectos para mitigar emisiones de metano, además del desarrollo de mercados de carbono. En México la iniciativa comenzó con proyectos de biodigestión en los estados de Guanajuato y Michoacán; la dependencia encargada de coordinar estos proyectos es la SEMARNAT.

Número y Ubicación de Biodigestores Existentes en México

La revisión en las fuentes de información documenta la existencia de 721 biodigestores, de los cuales, 563 corresponden a los derivados de los PDDs¹⁴, 154 a los apoyados por el FIRCO y 4 más instalados bajo la iniciativa M2M (SAGARPA, 2009: 12).

Tipo de sistemas de biodigestión anaeróbica utilizados en México:

- Tipo Laguna
- Modular
- Cubiertas Modulares Flotantes
- Ferrocemento
- Sistema Biobolsa o Tipo Salchicha.
- Reactor

La tecnología que más se utiliza en las unidades productivas analizadas y en lo general en los biodigestores instalados en México es la tipo laguna anaeróbica; de los biodigestores construidos el 94.2% utilizan esta tecnología, la segunda tecnología más utilizada es la modular, con 17 biodigestores del total, la tecnología tipo bolsa es la que se ha utilizado en menor cantidad, pues solo se tiene 3 biodigestores empleando dicha tecnología (FIRCO, 2009: 15).

México cuenta con un amplio potencial de unidades productivas susceptibles de incorporar sistemas de biodigestión en diferentes niveles, del cual se estima que hay 3,000 establos lecheros, 1,500 granjas porcinas, 94 rastros TIF y 905 rastros municipales, sin considerar los corrales de engorda y granjas avícolas interesadas en la tecnología, además de miles de unidades de producción pequeñas que podrían utilizar el biogás y sus aplicaciones para servicios de autoconsumo (SENER, 2012).

Apoyos para el uso de biodigestores en México.

En el período 2008–2012, el Gobierno Federal a través de la SAGARPA apoyó la construcción de 327 biodigestores y la adquisición de 137 motogeneradores a partir de biogás, para generar energía eléctrica y térmica la cual es utilizada para diversos fines productivos dentro de las explotaciones agropecuarias (SENER, 2012).

¹⁴ Project Design Document

Actualmente los apoyos para biodigestores y motogeneradores se encuentran enmarcados en las Reglas de Operación del Programa de Fomento a la Agricultura de la SAGARPA publicado en el DOF el 18 de diciembre de 2013. Contempla el componente Bioenergía y Sustentabilidad¹⁵ (DOF, 2013).

Dentro del concepto Energías Renovables y Eficiencia Energética. El apoyo para sistemas de biodigestión es de \$ 1,000,000.00 (un millón de pesos 00/100 M.N.).

Para el caso de motogeneradores es de \$ 500,000.00 (quinientos mil pesos 00/100 M.N.).

2.4 Biogás

El biogás en el interior de un biodigestor es producido por bacterias, estas descomponen la materia y mediante varias etapas se produce biogás cuyo componente principal es el metano el cual es el elemento importante y útil en este proceso.

Etapas de la fermentación metanogénica

La digestión anaeróbica es un proceso muy complejo tanto por el número de reacciones bioquímicas que tienen lugar como por la cantidad de microorganismos involucrados en ellas. De hecho muchas de estas reacciones ocurren de forma simultánea. Los estudios bioquímicos y microbiológicos realizados hasta ahora, dividen el proceso de descomposición anaeróbica de la materia orgánica en cuatro fases o etapas (Varnero, 2011: 19):

1. Hidrólisis
2. Etapa fermentativa o acidogénica
3. Etapa acetogénica
4. Etapa metanogénica.

¹⁵http://www.sagarpa.gob.mx/agricultura/Programas/proagro/Normatividad/Documents/2014/Reglas_Operacion_PROAGRO_Productivo_18DIC2013_VES.pdf

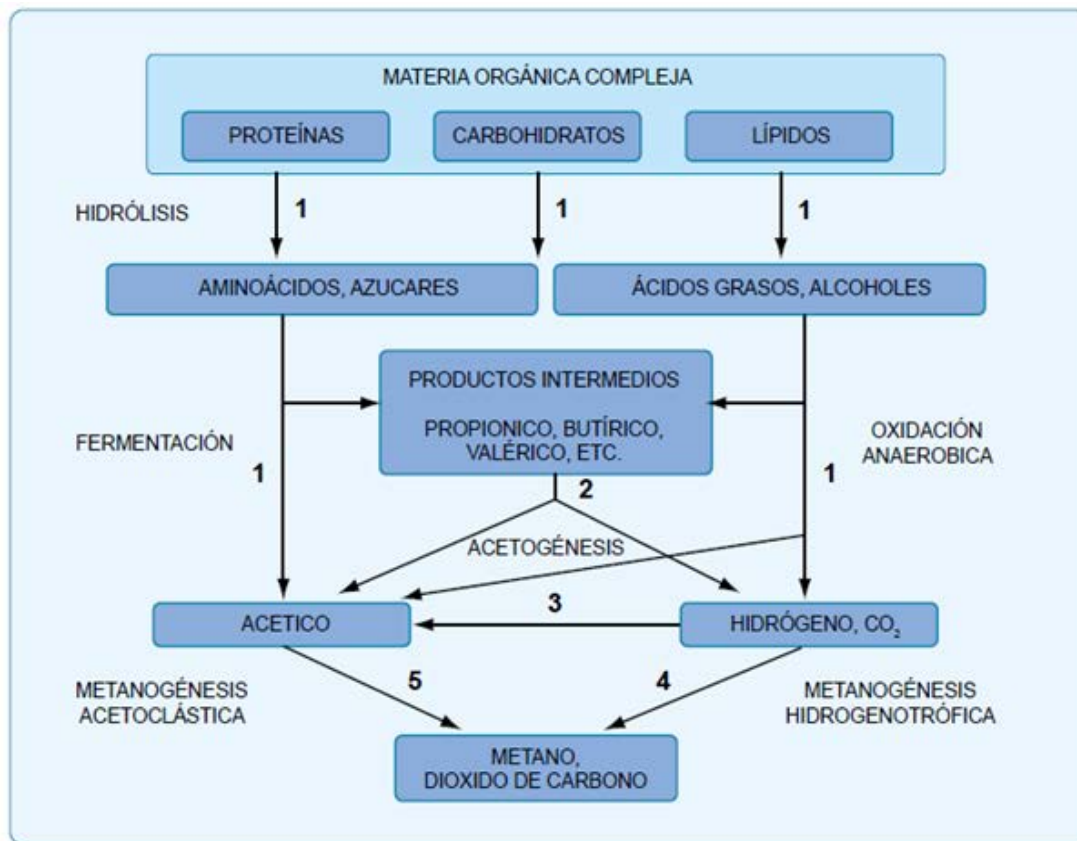


Figura 7. Esquema de reacciones de la digestión anaeróbica de materiales poliméricos

Fuente: Pavlostathis y Giraldo-Gómez, 1991. Citado por Varnero 2011.

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

La primera fase es la hidrólisis de partículas y moléculas complejas (proteínas, carbohidratos y lípidos) que son hidrolizados por enzimas extracelulares producidas por los microorganismos acidogénicos o fermentativos. Como resultado se producen compuestos solubles más sencillos (aminoácido, azúcares y ácidos grasos de cadena larga) que serán metabolizados por las bacterias acidogénicas dando lugar principalmente a ácidos grasos de cadena corta, alcoholes, hidrógeno, dióxido de carbono y otros productos intermedios. Los ácidos grasos de cadena corta son transformados en ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono, mediante la acción de los microorganismos acetogénicos. Por último, los microorganismos

metanogénicos producen metano a partir de ácido acético, H_2 y CO_2 (Varnero, 2011: 19).

Composición del biogás

El biogás es un gas combustible formado en su mayoría por metano (CH_4) y por dióxido de carbono (CO_2), aparte de contener pequeñas cantidades de hidrógeno, nitrógeno, oxígeno, monóxido de carbono y trazas de sulfuro de hidrógeno (H_2S) el cual le proporciona un olor característico a azufre. La llama producida por el biogás al ser quemado es de color azul pálido, casi invisible a la luz del día; siendo su poder calorífico cercano a 5,342 kilocalorías por m^3 (ICAITI, 1983a: 7).

Cuadro 7. Composición química del biogás.

Composición del Biogás	
Componente	Porcentaje
Metano (CH_4)	54 – 70%
Bióxido de carbono (CO_2)	27 – 45%
Nitrógeno (N_2)	0.5 – 3%
Hidrogeno (H_2)	1 - 10%
Ácido Sulfhídrico (H_2S)	0.1%

Fuente: ICAITI, 1983a: 66

Los rangos normales de gas metano dentro de una muestra de biogás deben rondar entre el 30% al 60% de dióxido de carbono, 50% y el 70% de CH_4 y el 3% de otros gases (ICAITI, 1983a: 5).

Es importante destacar que con el uso de biogás se pueden ahorrar el uso de otro tipo de combustibles, sobre todo de origen fósil y de este modo reducir considerablemente la emisión de gases de efecto invernadero.

El biogás tiene gran importancia debido a que se puede utilizar directamente como energía calórica o como fuente de energía para la generación de energía eléctrica. Su importancia radica en que con su empleo se pueden dejar de emplear algunas fuentes de generación de energía que concentran grandes concentraciones de gases

de efecto invernadero como son la madera y los combustibles de origen fósil como el petróleo, carbón mineral y gas natural.

Al emplear directamente el biogás en estufas se estaría dejando de utilizar gran cantidad de leña, lo que conlleva a una disminución de tala clandestina.

En la siguiente tabla se presentan algunas equivalencias energéticas del biogás.

Cuadro 8. Equivalencias energéticas del biogás

1000 litros (1m ³) de biogás equivale a:	
Madera	1.33 kg.
Bosta seca	1.2 kg.
Alcohol	1.1 litros
Gasolina	0.75 litros
Gas-oil	0.65 litros
Gas natural	0.76 kg.
Carbón	0.7 kg.
Electricidad	2.2 kw/h.

Fuente: Martí, 2008: 31.

Con el empleo de biogás para generar energía eléctrica se estarían dejando de emitir grandes concentraciones de GEI. Ya que se estarían dejando de utilizar combustibles de origen fósil para su generación.

Factores determinantes en la generación de biogás

La generación de biogás depende de varios factores entre los que destacan el manejo de la materia orgánica, calidad de la misma. Pero sobre todo de algunos aspectos como la temperatura de la zona la cual estará directamente relacionada al tiempo de retención; además aspectos como el pH y la relación Carbono-Nitrógeno son los factores más relevantes para la generación de biogás.

La temperatura y tiempo de retención son dos factores fundamentales para que la producción de biogás sea eficiente en el interior de un biodigestor.

Temperatura

Es necesario estimar un tiempo de retención según la temperatura a la que se trabaje. El tiempo de retención es la duración del proceso de digestión anaerobia, es el tiempo que requieren las bacterias para digerir el lodo y producir biogás. Este tiempo, por tanto, dependerá de la temperatura de la región donde se vaya a instalar el biodigestor. Así, a menores temperaturas se requiere un mayor tiempo de retención que será necesario para que las bacterias que tendrán menor actividad, tengan tiempo de digerir el lodo y de producir biogás (Martí, 2008: 27).

Cuadro 9. Tiempo de retención según temperatura (días)

Región característica	Temperatura (°C)	Tiempo de retención (días)
Trópico	30	20
Valle	20	30
Altiplano	10	60

Fuente: Martí Herrero J. (2008). Guía de diseño y manual de instalación. GTZ-Energía. Bolivia. Pág. 27.

La temperatura es uno de los principales factores que afectan el crecimiento de las bacterias responsables de la producción de biogás. La producción de biogás puede ocurrir en cualquier sitio que se encuentre en el rango de temperatura de 4 °C a 68 °C. A medida que la temperatura aumenta, la tasa de producción de gas también se incrementa, y por ende disminuye el tiempo de retención de la materia orgánica dentro del digestor. En algunos casos se hace necesario implementar un sistema de calor suplementario para mejorar el rendimiento del proceso (Unidad de Planeación Minero Energética, 2003: 18).

La fermentación anaeróbica está directamente relacionada con la temperatura, es decir, cuanto más es la temperatura ambiente, mayor es la producción de biogás, si las demás condiciones son apropiadas. Aún más importante que el nivel de temperatura dentro del digestor es que la temperatura sea lo más constante posible, para facilitar la acción bacteriana. Esta condición se logra fácilmente construyendo los digestores enterrados, ya que el suelo es un aislante natural muy eficiente (ICAITI, 1983b: 8).

Tiempo de retención hidráulica

El tiempo de retención es el número de días que una cantidad dada de carga permanece dentro del digestor, en general, este tiempo de retención varía según el caso porque depende de la temperatura ambiente, del tipo de sustrato usado y de la cantidad de sustrato disponible para la mezcla por día.

Generalmente, cuando la temperatura es alta, se puede aplicar un tiempo de retención corto, por ejemplo, de 15 a 30 días, siempre y cuando se disponga de suficiente materia orgánica a diario. Si la temperatura ambiente es baja, deben aplicarse tiempos de retención más largos, por ejemplo, de 30 a 60 días (ICAITI, 1983b: 7).

pH

Un rango óptimo de pH para el proceso de digestión está entre 7 y 8, pero también en operaciones correctas podría estar entre 6,5 y 7,5 (Piedrahita, 2000).

El pH de la materia prima indica si el proceso de digestión se lleva a cabo en condiciones adecuadas. Las bacterias responsables del mecanismo de producción de biogás son altamente sensibles a cambios en el pH, permiten un rango de variación entre 6 y 8 unidades de pH, teniendo como óptimo un pH de 7 a 7,2 (UPME, 2003: 20).

Relación carbono nitrógeno C/N

Si la relación C/N es alta, el nitrógeno será consumido rápidamente por las bacterias metanogénicas para formar proteínas y no reaccionará con el material restante, por tanto la producción de gas será alta. De otra parte, si dicha relación es muy baja, es decir, donde el nitrógeno sea abundante, el nitrógeno será liberado y acumulado en forma de amoníaco, el cual incrementara el pH de la carga en el digestor. Un pH mayor que 8.5 comenzará a mostrar efectos tóxicos en la población de bacterias metanogénicas. Los materiales con una relación C/N alta pueden mezclarse con aquellos de baja relación C/N para dar la relación promedio deseada a la carga, que es de 20 a 30 partes de carbono por una de nitrógeno (UPME, 2003: 17).

Modelos para la estimación del biogás

- Modelo mexicano de biogás

Este modelo fue inicialmente desarrollado en el 2003 por SCS Engineers bajo contrato con el programa Land fill MethaneOutreach (LMOP) de la EPA. El Modelo Mexicano de Biogás Versión 1.0 se utilizó para estimar la generación y recuperación de biogás en RESA's mexicanos que contaban o planeaban tener un sistema de recolección de biogás. Posteriormente, en el 2009, se desarrolló una actualización y mejoramiento de esta versión, logrando el Modelo Mexicano de Biogás Versión 2.0 (Aguilar, 2011: 38).

$$Q_{LFG} = \sum_{t=1}^n \sum_{j=0.1}^1 2KL_0^* \left[\frac{M_i}{10} \right] (e^{-KtL_j})(MCF)(F) \quad [1]$$

Donde: Q_{LFG} es el flujo de biogás máximo esperado ($m^3/año$), i es el incremento en tiempo de 1 año, n es el año del cálculo, año inicial de disposición de residuos, j es el incremento de tiempo en 0.1 años, k es el índice de generación de metano ($1/año$), L_0 es la generación potencial de metano (m^3/Mg), M_i es la masa de residuos dispuestos en el año i (Mg), t_{ij} es la edad de la sección j de la masa de residuos M_i dispuestas en el año i (años decimales), MCF es el factor de corrección de metano, F es el factor de ajuste por incendios.

Existen varios modelos para calcular la generación de biogás, descripción de algunos de ellos: (Aguilar, 2011: 38).

- Método Tier 3

$$q_{LFG} = \frac{Q_e}{\pi r_e^2} \quad [2]$$

Donde: q_{LFG} es la tasa de generación de biogás, Q_e es la tasa de extracción del pozo y r_e es la distancia radial.

- Modelo LandGEM o EMCOM

Este modelo está basado en una reacción de degradación de primer orden que indica el potencial de CH_4 como se muestra en la ecuación siguiente:

$$Q = L_0 R (e^{-kc} - e^{-kt}) \quad [3]$$

Donde: Q es el volumen de gas CH_4 producido en el año actual ($\text{m}^3/\text{año}$); L_0 es el potencial de producción de CH_4 de los residuos sólidos (m^3/Mg); R es la tasa de residuos sólidos recibida durante la operación del sitio (t/año); k es la tasa constante de degradación de primer orden (por año); c es el período de clausura del sitio de disposición de residuos en el presente año; y t es el tiempo que lleva abierto del sitio de disposición final de residuos en el presente año.

- Método de cámara de flujo cerrado

$$J = \left(\frac{V}{A} \right) dC/dt \quad [4]$$

Donde: J es el flujo de CH_4 de los residuos del sitio de disposición final ($\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$); V es el volumen de la cámara (m^3); A es el área cubierta por la cámara (m^2); y dC/dt es la tasa de incremento (gradiente de concentración) del gas CH_4 ($\text{mol}/\text{m}^3 \cdot \text{hr}$) (Aguilar, 2011).

- Estimación de biogás para un biodigestor tipo laguna

De manera general, el cálculo de la producción de biogás se podrá realizar de acuerdo con la metodología que recomienda el Panel Intergubernamental de Cambio Climático, en su documento “2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories”, la cual establece la siguiente ecuación (FIRCO, 2013: 14).

$$Y_v = \left[\frac{Bo * V_s}{R} \right] \left[1 - \left[\frac{K}{RM - 1 + K} \right] \right] \quad [5]$$

Donde:

Y_v = Producción diaria de metano por volumen de influente l/l.

V_s = Concentración de Sólidos Volátiles Totales (SVT) en g/l de influente por día.

B_0 = Último rendimiento de metano, l/g de TVS en %.

R = Tiempo de retención en días.

M = Velocidad máxima de crecimiento microbiano $t^{-1}(\mu_{max})$.

K = Parámetro cinético relacionado al consumo de sustrato (adimensional).

Beneficios del biogás

El aprovechamiento del biogás tiene enormes beneficios tanto sociales, energéticos, ambientales y económicos.

Beneficios sociales: con la utilización de biodigestores para la generación de biogás se reducen problemas de salud como problemas gastrointestinales, problemas de conjuntivitis, problemas en las vías respiratorias e infecciones de la piel principalmente.



Figura 8. Beneficios asociados a la generación y al aprovechamiento del biogás

Fuente: Mata, S. J., Romero-Hernández, O. (2011).

Beneficios Energéticos: El biogás puede ser aprovechado directamente como energía calórica, por ejemplo, en estufas o con un motogenerador se puede generar electricidad y se reduciría en forma importante el uso de fuentes de energía de origen fósil utilizados en equipos similares para la generación de energía eléctrica. Con el empleo de materia orgánica en condiciones anaerobias se puede autogenerar energía.

Beneficios ambientales: se reducen problemas de contaminación de suelo, agua aire, inhibición de malos olores. Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

Beneficios económicos: En la actualidad las empresas que quieren mantenerse en el mercado tienen que buscar estrategias que las permitan ser más competitivas. Algunas empresas están empleando tecnología limpia para generar biogás y en consecuencia energía eléctrica. Este tipo tecnología permite a las empresas ser autosuficientes en la generación de la energía eléctrica que utilizan en sus procesos productivos. De esta forma logran ser competitivas en costos de producción y logran ser más eficientes en sus demás procesos.

Se estima que en 2010 la producción de biogás en el mundo fue de 1,025 PJ de energía, con un crecimiento anual de 13.5%. Dentro de los principales países productores de energía térmica a base de biogás, se encuentran Japón, Estados Unidos de América, Alemania, Italia, Dinamarca, Polonia y Australia. A nivel mundial, la instalación de biodigestores va en aumento; se estima que en China 50 millones de hogares consumen biogás y en India se construyeron durante 2010, 60,000 pequeños biodigestores, para sumar un total de 4.3 millones en ese país (SENER, 2012).

2.5 Motogeneradores

En la actualidad el empleo de motogeneradores activados con biogás para la generación de energía eléctrica es una práctica cada vez más frecuente en granjas porcinas, establos lecheros, rastros, rellenos sanitarios, plantas procesadoras de alimentos y plantas tratadoras de agua fundamentalmente.

Los motores de cuatro tiempos fueron desarrollados originalmente para el gas natural y por lo tanto son bien adaptados a las características especiales del biogás. Su

eficiencia eléctrica normalmente no excede 34 a 40%, como la salida de óxido de nitrógeno NO_x tiene que ser mantenido bajo los valores prescritos. Hay por ejemplo motores de cuatro tiempos con eficiencia eléctrica debajo del 40% trabajando con un recuperador. Los rangos de capacidad de los motores está entre 100 kW 1 MW y la vida útil es de 60,000 horas (Deublein & Steinhauser, 2008: 367).

La generación de electricidad en una turbina de gas

Las turbinas de gas, son pequeñas turbinas de gas de alta velocidad con cámaras de baja combustión, presión y temperatura. Están diseñados para ofrecer hasta 200 kW de energía eléctrica. Para el funcionamiento normal la turbina aspira en el aire de combustión. El combustible es normalmente suministrado a la cámara de combustión de aire. Cuando el biogás con bajo poder calórico es usado puede también ser mezclado con el aire de combustión antes de la turbina. En el último caso un poco de gas ha sido suministrado directamente a la cámara de combustión para ajuste fino. Las microturbinas de gas están reguladas únicamente por la variación en el suministro de combustible (Deublein & Steinhauser, 2008: 379).

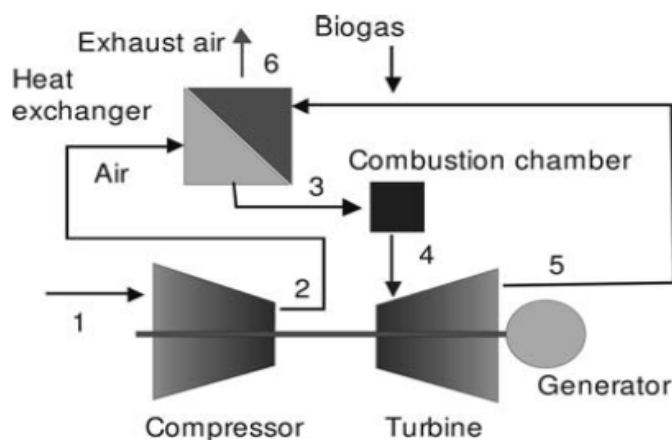


Figura 9. Micro gas turbine: scheme (left), thermodynamical process (right)

Fuente: (Deublein & Steinhauser, 2008: 379).

Las microturbinas de gas serán reguladas por la variación en el suministro de combustible.

Motogeneradores en México

En 2006 la SAGARPA a través de FIRCO y en colaboración con la Universidad Autónoma de la Ciudad de México implementaron un proyecto de aprovechamiento de biogás en 9 granjas ubicadas en los estados de Jalisco, Nuevo León y Sonora. Se instalaron motogeneradores accionados con biogás (FIRCO, 2007).

Características del motogenerador utilizado en México

En función de diversas marcas y capacidades de motogeneradores a utilizarse dentro del proyecto, los productores se inclinaron por seleccionar los equipos ofertados por la empresa MOPESA, cuyas características son las siguientes (FIRCO, 2007: 6):

Cuadro 10. Datos del Generador

Características	Planta de biogás
Motor econogasPerkins	G6 354.4 B
Generador	WEB
Capacidad del Generador (kW)	50-60
Voltaje de generación (v)	220-440
Factor de Potencia	0.8
Frecuencia luz	60
R.P.M.	1800
Fases	3
Hilos	4
Ciclo de operación	Continuo y/o intermitente
Régimen de sobrecarga	10% hasta 2 hrs. Cada 24 horas.

Fuente: FIRCO 2007.

Los motogeneradores de marca nacional son de buena calidad y están ganando mercado por su calidad y precio en los proyectos de aprovechamiento de biogás en granjas porcinas en México.

El buen funcionamiento de los equipos dependerá del buen manejo, cuidado y adecuado mantenimiento.

Cuadro 11. Datos técnicos del motor

Características	Motor para biogás G6.354.4
Marca	EcongasPerkins
Potencia bhp a 1800 rpm	90
N° de cilindros	6 en línea
Desplazamiento cúbico en lts.	5.8
Tiempos	4
Tipo de gobernación	4% electrónica
Enfriamiento	Anticongelante
sistema eléctrico	12 volts
Tipo de encendido	Electrónico
Relación de compresión	11.5:1
Orden de encendido	1-5-3-6-2-4
Rotación	Sentido de reloj
Diámetro	98.4

Fuente: FIRCO, 2007.

Cada granja tiene características propias por lo que la elección de un motogenerador dependerá del volumen de biogás generado en la misma, así como de las necesidades de energía eléctrica que tiene cada granja. De esta forma el motogenerador se utilizará de forma eficiente.

Cuadro 12. Capacidad de generación de energía eléctrica para distintos tipos de motogeneradores (kW)

Capacidad del motogenerador en kW	Capacidad estimada de generación de energía eléctrica (concentración de metano al 50%) kW
60	48.43
50	35.47
40	30.52
30	24.38
25	17.09
15	11.47

Nota: Con base en información de algunos proveedores.

Fuente: FIRCO 2007.

Actualmente se están empleando motogeneradores de 30 y 60 kilowatt en granjas y establos lecheros para la generación de energía eléctrica en México. Sin embargo la creciente demanda por motogeneradores más pequeños ha permitido que las empresas de este ramo diseñen motogeneradores con menor capacidad los cuales ya están en el mercado.

CAPITULO III PRODUCCIÓN DE CARNE DE CERDO

3.1 Producción Mundial

La producción de carne de cerdo es una de las actividades pecuarias más representativas, debido a la gran aceptación de la población, fundamentalmente por factores que influyen directamente en su preferencia como sabor, precio y disponibilidad frente a otro tipo de carnes.

Cuadro 13. Producción de carne de cerdo a nivel mundial (Toneladas)

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2011%	TMCA
China	47,590,963	43,933,037	47,190,352	49,880,355	51,681,462	51,534,651	46.84	1.60
Estados Unidos de América	9,550,390	9,951,360	10,599,000	10,441,700	10,185,600	10,330,700	9.39	1.58
Alemania	4,662,500	4,985,180	5,121,610	5,264,510	5,488,370	5,616,070	5.10	3.79
España	3,235,240	3,439,440	3,484,360	3,290,570	3,368,920	3,469,350	3.15	1.41
Brasil	2,830,000	2,990,000	3,015,000	3,130,000	3,195,000	3,227,000	2.93	2.66
VietNam	2,505,100	2,662,700	2,782,700	3,035,850	3,036,360	3,098,900	2.82	4.35
Francia	2,010,770	2,031,200	2,274,110	2,261,590	2,190,970	2,157,410	1.96	1.42
Federación de Rusia	1,641,480	1,872,680	2,042,060	2,169,480	2,330,810	2,427,640	2.21	8.14
Polonia	2,097,500	2,150,700	1,920,400	1,735,700	1,894,800	1,935,300	1.76	-1.60
Canadá	1,898,290	1,898,000	1,947,830	1,943,420	1,925,930	1,953,550	1.78	0.58
Dinamarca	1,748,580	1,802,200	1,707,200	1,585,000	1,668,200	1,720,200	1.56	-0.33
Filipinas	1,564,960	1,616,720	1,605,980	1,595,700	1,613,450	1,649,300	1.50	1.06
Italia	1,559,240	1,603,280	1,606,010	1,628,030	1,673,000	1,601,880	1.46	0.54
Japón	1,246,530	1,250,510	1,248,800	1,309,910	1,292,450	1,266,750	1.15	0.32
Países Bajos	1,264,900	1,289,940	1,317,710	1,274,980	1,288,270	1,347,170	1.22	1.27
México	1,108,940	1,152,000	1,160,680	1,162,400	1,174,580	1,202,000	1.09	1.62
Mundo	100,979,643	99,890,640	104,163,880	106,609,638	109,370,500	110,011,932	100.00	1.73

Fuente: Elaboración propia con datos FAOSTAT

Con datos de la FAO, el principal productor de carne de cerdo es China, en 2011 represento el 46.84% de la producción mundial y en los últimos cinco años presentó una tasa media de crecimiento anual del 1.60% (ver cuadro 13).

Uno de los países que es protagonista en la mayoría de los ámbitos productivos a nivel mundial es Estados Unidos de América, país que es el segundo productor de carne a nivel mundial. En los últimos cinco años presentó una tasa media de crecimiento anual en la producción de carne de cerdo del 1.58%.

Rusia es octavo productor de carne a nivel mundial, en 2011 su producción fue de 2,427,640 toneladas de carne y es el país que ha presentado la mayor tasa de crecimiento con el 8.14% anual dentro de los 16 principales productores en el mundo (ver cuadro 13).

3.2 Producción nacional

México ocupa el lugar dieciséis en la producción de carne de cerdo de canal a nivel mundial. De acuerdo con datos de la SAGARPA, en 2011 la producción nacional de carne de cerdo en canal fue de 1,201,998 toneladas. Durante el período de 2001 a 2011 la producción de carne de cerdo presentó una tasa media de crecimiento anual del 1.29%.

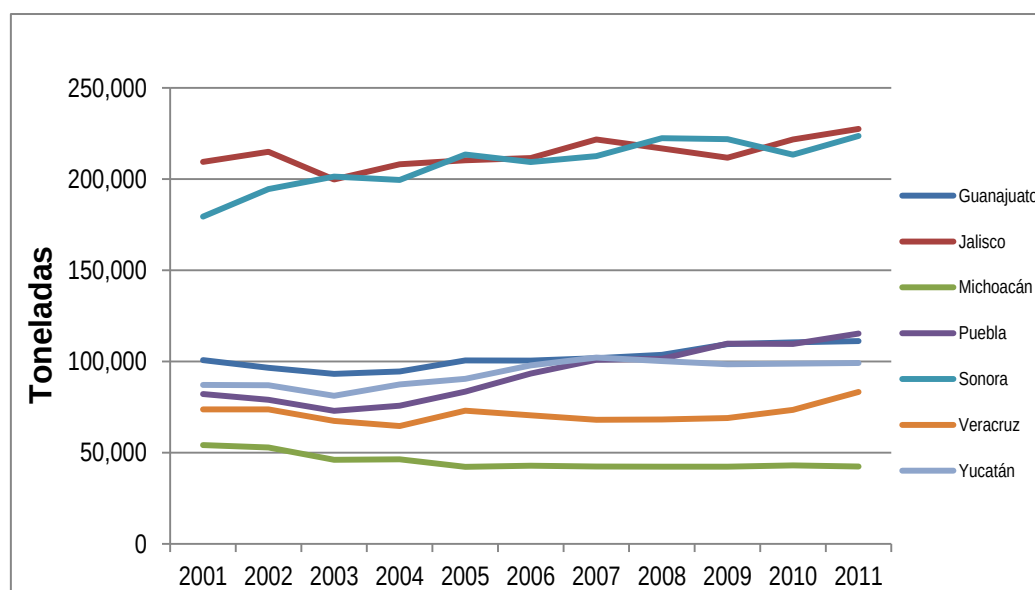


Figura 10. Principales Productores de carne de cerdo en canal en México Período 2001-2011 (Toneladas)

Fuente: Elaboración propia con datos de SIAP-SAGARPA

La actividad porcícola es de gran importancia en México en 2011 la producción nacional de carne de cerdo en canal fue de 1,201,998 toneladas. El principal productor de carne de cerdo en México es el estado de Jalisco representó en 2011 el 18.93% de la producción total de carne de cerdo en canal en México, en el período de 2001 a 2011 presentó una tasa media de crecimiento anual del 0.83%. El segundo productor es el estado de Sonora con el 18.61% de la producción total

nacional y con una tasa media de crecimiento anual en el período 2001-2011 del 2.23%.

El estado de Puebla en 2011 representaba el tercer lugar en producción de carne de cerdo en canal a nivel nacional, con una producción del 9.59%. La entidad tiene un importante crecimiento en los últimos años, en el período de 2001-2011 presentó el mayor dinamismo de crecimiento dentro de los siete principales estados productores en México, alcanzó una tasa media de crecimiento anual de 3.44% (ver figura 10).

Es importante destacar que a pesar del incremento en el precio de los insumos para la actividad, la producción no ha tenido retroceso en los últimos años. Sin embargo se deben buscar mecanismos que favorezcan la producción y competitividad sobre todo en costos. La actividad porcícola representa una ventaja debido a que todo puede ser aprovechado desde la carne hasta los desechos.

Producción disponible, Importaciones y demanda de carne de cerdo en capote¹⁶ en México.

México en 2012 presentó una demanda de carne de cerdo en capote de 1,203.5 miles de toneladas, de acuerdo con datos de SIAP SAGARPA. Para este año cubrió el 53% de su demanda por lo que tuvo que importar el 47%. El país tiene un gran potencial de producción, sin embargo el factor limitante lo representan los costos de producción.

La producción disponible de carne de capote en México se ha mantenido constante en los últimos cuatro años, en 2009 representaba el 53% de la demanda, en 2010 el 52%, para 2011 presentó un ligero crecimiento y representó el 56%. De igual forma las importaciones de carne de cerdo en capote se han mantenido constantes en el período de 2009 a 2012 (ver figura 11).

¹⁶Canal completo de cerdo sin cuero. Incluye todos los músculos y huesos sin la cabeza. Peso aprox. 45 kg (<http://www.rycalimentos.com/cms/index.php/productos/genericos-cerdo.html>)

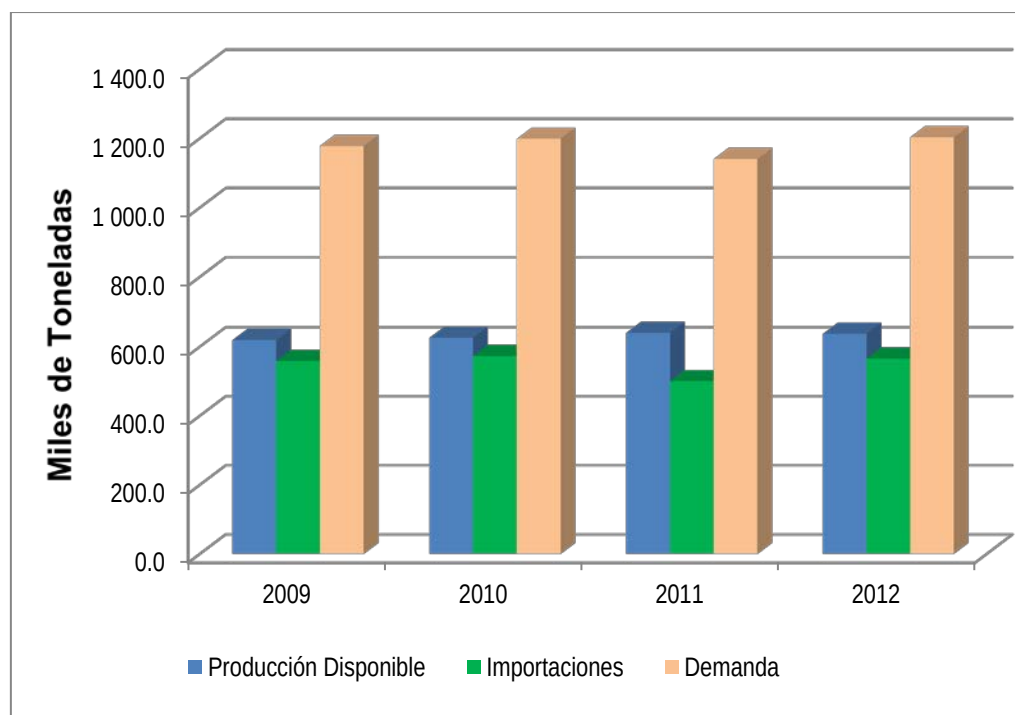


Figura 11. Producción Disponible, Importaciones y Demanda de carne de cerdo en capote en México 2009 - 2012 (Miles de Toneladas)

Fuente: Elaboración propia con datos de SIAP SAGARPA, 2013.

Una de las ventajas que tienen los productores de carne de cerdo es la preferencia de los consumidores, debido fundamentalmente al sabor. Además de que el precio es más accesible en relación a la carne de bovino.

3.3 Comercio exterior de carne de porcino fresca, refrigerada o congelada.

Exportaciones

Las exportaciones mexicanas de carne de porcino fresca, refrigerada o congelada tienen como principal destino Estados Unidos y Japón. Para estos dos importantes destinos México exporta el 97.2% (ver cuadro 14).

Cuadro 14. Exportaciones Mexicanas de Carne de Porcino Fresca, Refrigerada o Congelada 2002-2007 (Toneladas)

Países	2002	2003	2004	2005	2006	2007	PROM	%	TMCA % (1997-2007)
Estados Unidos	8,673	4,429	4,969	5,382	6,600	7,770	6,304	17.8	-2.2
Japón	14,729	17,150	20,922	30,261	36,989	49,132	28,197	79.5	27.2
Otros	70	26	702	1,743	1,524	1,821	981	2.8	91.9
Total	23,472	21,604	26,593	37,386	45,113	58,723	35,482	100.0	20.1

NOTA: No se incluyeron las fracciones: 02031101, 02031201, 02031999, 02032101, 02032201 y 02032999

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI, Anuario Estadístico del Comercio Exterior de los Estados Unidos Mexicano, varios años y Sistema de Información de Comercio de Mercados (SICM) S.E.

Es notable destacar que Estados Unidos dejó de ser el principal comprador de carne de porcino fresca, refrigerada o congelada. En el período de 2002-2007 Japón es el principal comprador con el 79.5% y presentó una tasa media de crecimiento anual de 27.2%.

Importaciones

México importa casi el 50% de su demanda de carne de cerdo. Los principales proveedores de carne de porcino fresca, refrigerada o congelada son Estados Unidos y Canadá. De estos dos países México importa el 97.5%.

Cuadro 15. Importaciones de Carne de Porcino fresca, refrigerada o congelada 2002-2007 (Toneladas)

Países	2002	2003	2004	2005	2006	2007	Prom.	%	TMCA (1997-2007)
Estados Unidos	168,751	220,105	282,707	267,003	292,769	292,781	254,019	87.0	11.7
Canadá	21,116	35,751	42,549	30,873	24,689	29,051	30,672	10.5	6.6
Otros	12,086	10,369	7,711	6,094	3,965	2,685	7,152	2.5	-26.0
Total	201,953	266,224	332,967	303,970	321,422	324,518	291,842	100.0	10.0

NOTA: No se incluyeron las fracciones: 02031101, 02031201, 02031999, 02032101, 02032201 y 02032999

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI, Anuario Estadístico del Comercio Exterior de los Estados Unidos Mexicano, varios años y Sistema de Información de Comercio de Mercados (SICM) S.E.

Cabe destacar que mientras las exportaciones mexicanas de carne de cerdo a los Estados Unidos han disminuido en los últimos años, las importaciones provenientes de este país han incrementado. En el período de 2002-2007 las importaciones de Estados Unidos presentaron una tasa media de crecimiento anual de 11.7%

3.4 Competitividad de la empresa

Inversión

El ser humano tiene un sin número de necesidades en su vida cotidiana lo cual hace necesario el buscar alternativas para satisfacer dichas necesidades, entre las más importantes sobre todo para su actividad económica destaca la inversión, la cual bien planeada genera rendimientos económicos que llevan a un crecimiento y fortalecimiento de las empresas.

Los seres humanos usualmente desean predecir correctamente y existe una tendencia en ciertos analistas a darle más importancia o mayores grados de probabilidad de la que realmente merecen, a ciertos hechos, reportes o estados.

Los propios analistas y administradores de fondos de terceros, en su papel de especialistas en la materia, usualmente manejan proyecciones o escenarios para establecer sus recomendaciones a clientes. Sin embargo, los diferentes analistas no siempre llegan a las mismas conclusiones o poseen diferencias en la interpretación de ésta información (Fromlet, 2001).

Al dinero se le atribuye la función primordial de ser el medio para adquirir los diversos instrumentos y materiales que se utilizarán inicialmente en el proceso productivo, y posteriormente será el medio que permitirá la circulación de los bienes terminados. La atención se centra en la influencia que tiene la inversión sobre el crecimiento del ingreso, el equilibrio dinámico y la ocupación, asociándola a la disponibilidad o escasez de capitales, aspecto vital para lograr generar ventajas competitivas (Quiroz, 2003: 243).

Los sistemas de información gerencial ofrece amplias oportunidades para crear ventajas competitivas, para cambiar la manera como una empresa compete, o para innovar los procesos de una organización en términos de eficiencia. Un sistema de

información gerencial en una organización tiene como propósito asegurar la adecuación entre los objetivos estratégicos de la misma y la información necesaria para soportar dichos objetivos. Se trata de una metodología de planificación de sistemas, de tal manera, que comprenda a toda la organización y exige un nivel de conocimientos en estrategia gerencial (Martínez, 2010: 254).

Clasificación de las inversiones

Existen diferentes criterios para definir la tipología de las inversiones, no obstante cada vez con más frecuencia se utiliza para ello la clasificación de Joel Dean, el cual define las inversiones en cuatro grupos, a saber (Haime, 1995):

- Inversiones de renovación.
- Inversiones de expansión.
- Inversiones de modernización o de innovación.
- Inversiones estratégicas.

Competitividad

En la actualidad las PyMES se encuentran interactuando en un mercado abierto, lo cual implica cambios en los subsistemas productivos, tecnológicos y financieros. Las empresas que no respondan en tiempo y forma a estos cambios no subsistirán en su entorno. En este nuevo escenario globalizado el éxito empresarial descansa en la capacidad organizativa de anticiparse y reaccionar a las exigencias de los mercados. Un factor clave de éxito es la flexibilidad, la cual refleja la capacidad del empresario de adaptarse de manera rápida a los cambios que demanda el mercado. Una forma de responder a los cambios del mercado es adoptar un modelo, de acuerdo con las características de su organización, para poder aprovechar las ventajas que el mismo ofrece (Flores y González, 2009: 88).

En el nivel microeconómico, son los sectores, empresas y productos en los que se evalúa la competitividad. Este nivel de análisis es evaluado por lo que se podría llamar la aproximación moderna de la competitividad. Algunas de las formas de medir y definir la competitividad en este nivel se basan cuantitativamente en la participación del mercado, indicadores de productividad y/o costo, márgenes de ganancia y/o

beneficios netos. Al igual que en el nivel macro, existen mediciones y definiciones de tipo cualitativo como la investigación y desarrollo además de las estrategias gerenciales (Lombana, 2009: 6).

La visión muestra el estado futuro que queremos lograr de nuestra organización, dónde queremos que esté posicionada a largo plazo, siempre dejando espacio para poder modificarla, ya que todo debe estar en constante cambio, porque las empresas que se mantienen igual, tenderán a desaparecer con el tiempo. El encargado de redactar la visión es el gerente general o dueño del negocio ya que, él mejor que nadie, sabe exactamente qué quiere crear y cuáles son sus ideales a largo plazo (López, 2010: 305).

Las empresas del sector pecuario tienen la oportunidad de invertir en sistemas con tecnología limpia que les permite ser autosuficientes en la generación de energía. De esta forma con los ahorros obtenidos por pago de energía pueden invertir en otros aspectos relevantes dentro de las unidades de producción y de esta manera ser más competitivas.

Competitividad de la empresa agropecuaria

La competitividad del sector agroalimentario es su capacidad para colocar los bienes que produce en los mercados, bajo condiciones leales de competencia, de tal manera que se traduzca en bienestar en la población (García, 1995: 1).

Las empresas agropecuarias y agroindustriales deben analizar cuidadosa y constantemente sus planes comerciales, redefinir los niveles productivos y organizacionales para poder sobrevivir ante un mercado globalizado y en continua amenaza de permanecer en dicho mercado. Este es el gran reto que se debe afrontar al inicio de este milenio (Torres, 2000: 45).

Varios factores: organizativos, económicos y técnicos son relevantes para robustecer y determinar cada fuerza competitiva dentro de una empresa. Entre las principales se destacan: la amenaza del ingreso que pueden ser debidas a las economías de escala, diferenciación del producto, requisitos de capital, costos cambiantes, acceso a los canales de distribución y desventajas en costo independiente de las economías de escala y el efecto de las políticas gubernamentales (Torres, 2000: 46).

La forma de administrar los agronegocios en las últimas cuatro décadas ha cambiado, los agronegocios se deben adaptar a las nuevas formas de administrar para poder competir en un ambiente empresarial más desafiante.

Cuadro 16. Viejos y nuevos énfasis en la administración de las fincas y agronegocios

CARACTERISTICAS	VIEJO ENFASIS	NUEVO ENFASIS
Qué producir?	Productos primarios básicos "commodities"	Productos con atributos específicos, materias primas diferenciadas, productos para nichos de mercado
Planteamiento estratégico	¿Cuánto producir?	¿A quién vender?
Comercialización	Colocación de excedentes	Diferenciación de la oferta y diseño de estrategias de venta a partir de las demandas de la clientela
Perfil del administrador	Básicamente productor de bienes primarios	Empresario generador de bienes intermedios para la industria agroalimentaria (cadenas)
Activos de la empresa	Capital financiero = principal fuente de poder y control	Información = principal fuente de poder y control
Recursos humanos	Capital financiero = costo	Fuerza laboral = inversión
Inserción de cadena	Equipamiento = inversión	Equipamiento = costo
Base de la modernización productiva	Suplidores y compradores son adversarios	Suplidores y compradores son aliados (Alianzas estratégicas)
Fuente principal de ventajas competitivas	Cambio tecnológico	Cambio institucional(formas de hacer las cosas) e innovación tecnológica
Concentración de la producción	Activos "duros" (Maquinaria y edificios)	Activos " blandos" (recursos humanos, organización, tecnología, planes)
Características del ambiente empresarial	Producción concentrada geográficamente	Producción geográficamente dispersa
Relaciones con el medio ambiente	Estabilidad	Cambio / incertidumbre/ flexibilidad
Información y conocimiento	Productores explotan recursos naturales	Productores protegen recursos naturales
	Información e investigación pública y abierta	Información e investigación privada (apropiable) y cerrada

Fuente: IICA: "Modernización de la Institucionalidad de la Agricultura y el medio rural". San José, Costa Rica. Diciembre 1997¹⁷.

Los agronegocios tienen que tener una administración eficiente. En la actualidad no solo se debe producir, se tiene que tener asegurado el mercado. Además se da más énfasis al capital humano, desde luego también a la innovación tecnológica. Durante mucho tiempo las empresas se preocupaban por producir sin importar la sobreexplotación de los recursos naturales, en nuestros días la legislación ha cambiado y muchos agronegocios están tomando conciencia y están cuidando los

¹⁷ Citado por Torres, H. G. (2000).

recursos naturales e implementando tecnología limpia en sus procesos de producción.

CAPÍTULO IV MARCO METODOLOGICO

4.1 Base Metodológica para contabilizar gases de efecto invernadero

De acuerdo con el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 1996) la metodología para estimar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) puede dividirse en tres de acuerdo con el nivel de detalle.

- El Nivel 1 se define como la metodología de los factores de emisión medios basados en la producción.
- El Nivel 2 es el llamado método de balance de masas y se diferencia con el nivel 1 en que se desarrolla con mayor detalle el inventario de emisiones para los gases distintos del CO₂ pues se cuenta con información del tipo de tecnología de combustión o se conocen incluso los factores de emisión específicos del país.
- El Nivel 3 es el método de evaluaciones rigurosas de fuentes específicas.

La metodología para construir un inventario de gases de efecto invernadero se basa fundamentalmente, en la siguiente ecuación.

$$ET_{i=} \sum_j \sum_k A_{kj} * C_{jik} \quad [6]$$

Dónde:

ET_i: Emisiones totales del GEI i

A_{jk}: Actividad energética del sector j para el combustible k

C_{jik}: Coeficiente o factor de emisión del gas i asociada a la actividad j y el combustible k.

Para el caso del sector agropecuario.

En este sector, se consideran fundamentalmente cinco fuentes de emisión (Sheinbaum, 2000):

- a) Ganado doméstico: fermentación entérica y manejo de estiércol
- b) Cultivo de arroz: arroz anegado
- c) Quema prescrita de Sabanas
- d) Quema en el campo de residuos agrícolas y

e) Suelos agrícolas.

Ganado doméstico

En este caso se trata fundamentalmente de las emisiones de metano y óxido nitroso procedente de dos fuentes fundamentales:

1. La fermentación entérica y
2. El manejo de estiércol.

Para el presente estudio se considera el segundo aspecto. El metano proveniente de manejo de estiércol por la descomposición en condiciones anaeróbicas, es decir, sin la presencia de oxígeno. Estas condiciones se presentan por lo general en las granjas y establos, donde se concentra un número importante de animales.

De esta forma para calcular las emisiones de CH₄ del estiércol de ganado se emplea la metodología de (IPCC, 2006).

Hay tres niveles para estimar las emisiones de CH₄ del estiércol del ganado.

Nivel 1

Un método simplificado para estimar las emisiones que sólo requiere los datos de la población de ganado por especie/categoría animal y del clima de la región o la temperatura, en combinación con los factores de emisión por defecto del IPCC. Dado que algunas emisiones de sistemas de gestión del estiércol dependen en gran parte de la temperatura, es una buena práctica estimar la temperatura anual promedio relacionada con los lugares donde se gestiona el estiércol.

Nivel 2

Se debe aplicar un método más complejo para estimar las emisiones de CH₄ producidas por la gestión del estiércol donde una especie/categoría de ganado en particular represente una parte significativa de las emisiones de un país. Este método requiere información detallada sobre las características de los animales y las prácticas de gestión del estiércol, la que se emplea para desarrollar factores de emisión específicos para las condiciones del país.

Nivel 3

Algunos países en los que las emisiones del ganado sean particularmente importantes pueden desear ir más allá del método de Nivel 2 y desarrollar modelos para metodologías específicas del país o emplear métodos basados en mediciones para cuantificar los factores de emisión.

El método elegido depende de la disponibilidad de datos y de las circunstancias nacionales.

Se empleó el nivel 1 para emisiones de metano producidas por la gestión del estiércol. Se emplearon los valores por defecto de (IPCC, 2006) del capítulo 10, volumen 4, cuadro 10A-4 a 10A-9. Para el Potencial de producción máximo de metano de sólidos volátiles generados por tipo de animal B_{oLT} y Sólidos volátiles por tipo de sistema de manejo de desechos de ganado en el año $SV_{LT,y}$.

B_{oLT} = capacidad máxima de producción de metano del estiércol producido por el ganado de la categoría T, $m^3 CH_4/kg$ de VS excretados.

$B_{oLT} = 0.48 (m^3 CH_4/kg SV)$.

$SV_{LT,y} = 0.3 \text{ kg ms/día.}$

4.2 Estimación de metano

La generación de metano en un biodigestor tiene que ver con diversos factores entre los que destacan el manejo, cantidad y calidad de materia orgánica. Sin embargo existen factores primarios que pueden ser controlables en cierta forma como la temperatura; la cantidad de sólidos volátiles (SV) que son la cantidad de materia orgánica que se volatiliza por el efecto de la calcinación a una temperatura de 550 °C. Además del tiempo de retención hidráulico (TRH) que es el número de días que una cantidad dada de carga permanece dentro de un biodigestor. Para calcular la producción de metano se emplea la siguiente ecuación de (Chen, 1983) quien se basó en el modelo de (Contois, 1959) sobre cinética de crecimiento bacteriano. Muchos modelos para determinar la producción de metano se han basado en dicho modelo.

Modelo de contoits

Los resultados de los estudios de cultivos continuos de aerobacterias y aerogenes creciendo en medios químicamente definidos indican que la tasa de crecimiento específica (R) es una función de la densidad de la población (P) así como la concentración de la limitación de nutrientes (S). A partir de estas observaciones, y las de otros, se deriva el siguiente modelo de crecimiento bacteriano (Contois, 1959):

$$R = \frac{u_m S}{B P + S'} \quad [7]$$

Donde u_m y B son parámetros de crecimiento constantes bajo condiciones definidas. Se cree que este modelo tiene aplicación general para contar el crecimiento bacteriano para un lote y para cultivos continuos.

Fórmula para calcular la generación de metano

Se utilizó la siguiente fórmula de Chen para determinar el potencial de generación de metano en la actividad porcícola en el estado de Puebla (Chen, 1983)

$$V_{CH_4} = B_o \text{ SV} \left[1 - \frac{K}{\mu_m \Theta - 1 + K} \right] \quad [8]$$

Donde:

V_{CH_4} = Volumen de metano producido en el biodigestor ($m^3 \text{ CH}_4 \text{ día}^{-1}$).

B_o = potencial de producción de metano ($m^3 \text{ CH}_4/\text{kg SV}$).

Tomamos el valor de (IPCC, 2006) del capítulo 10, volumen 4, cuadro 10A-7.

$B_{oLT} = 0.48 \text{ (} m^3 \text{ CH}_4/\text{kg SV)}$.

K = Parámetro cinético (inversamente relacionado con el rendimiento del biodigestor; valores < 0.6 indican estabilidad).

μ_m = tasa máxima de crecimiento específico (día^{-1}).

Θ = tiempo de retención hidráulico (días).

Para este estudio se está considerando un tiempo de retención hidráulico de 43 días.

Este dato se tomó para el estado de Puebla del Anexo 3 Temperaturas promedio anual en la República Mexicana y el tiempo de retención hidráulica para alcanzar el 60% de destrucción de los sólidos volátiles del sustrato en el biodigestor, del documento: Especificaciones técnicas para biodigestores pequeños tipo laguna (FIRCO, 2013: 37).

SV= Sólidos volátiles. (kg ms/día).

$SV_{LT,y} = 0.3$ kg ms/día.

Tomamos el valor de (IPCC, 2006) del capítulo 10, volumen 4, cuadro 10A-7.

Además se necesita de un factor clave para calcular la tasa de producción de metano, es el parámetro cinético K. Dicho parámetro se determinó con la siguiente ecuación de Hashimoto (Hashimoto, 1984).

$$K = 0.6 + 0.0206 \exp^{(0.051 \text{ SV})} \quad [9]$$

Donde:

SV = Sólidos volátiles (kg ms/día).

Por otra parte para determinar el valor de la tasa máxima de crecimiento específico μ_m se calculó con la siguiente ecuación (Hashimoto, Chen & Varel, 1981):

$$\mu_m = 0.013T - 0.129 \quad [10]$$

Donde:

T = Temperatura

Para nuestros análisis se considera una temperatura de 19°C.

Este dato se tomó para el estado de Puebla del Anexo 3 Temperaturas promedio anual en la República Mexicana y el tiempo de retención hidráulica para alcanzar el 60% de destrucción de los sólidos volátiles del sustrato en el biodigestor, del documento: Especificaciones técnicas para biodigestores pequeños tipo laguna (FIRCO, 2013: 37).

Con todos los parámetros técnicos se procedió a sustituir los valores en la fórmula número 8. Por lo que la generación de metano para un cerdo es de:

$$V_{CH_4} = 0.1250 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{día}.$$

Datos para la estimación de metano y biogás

Una vez determinado el volumen de metano producido por un cerdo se procede a multiplicarlo por la cantidad de cerdos a nivel estatal y por cada municipio en Puebla. En el cuadro 17 se tiene la base de datos que utilizamos obtener nuestras estimaciones.

Cuadro 17 Principales municipios productores de cerdo en Puebla (Cabezas)

Municipio	Cabezas	Porcentaje
PUEBLA	753121	100
Ajalpan	30301	4.02
Atexcal	97280	12.92
Atlixco	36322	4.82
Chalchicomula de Sesma	14517	1.93
Chila	90802	12.06
Huaquechula	14816	1.97
Huejotzingo	9880	1.31
Cañada Morelos	10486	1.39
San José Miahuatlán	11043	1.47
Tecamachalco	16406	2.18
Tehuacán	26960	3.58
Tepanco de López	77223	10.25
Tlacotepec de Benito Juárez	10389	1.38
Tochtepec	12684	1.68
Zacapoaxtla	8335	1.11
Resto	285677	37.93

Fuente: Elaboración propia en base Censo Agrícola Ganadero y forestal 2007.

Para la estimación de biogás se realizó lo siguiente:

Se consideró una concentración de CH_4 del 60% en la composición del biogás, de esta manera se tiene:

$$\text{Volumen de } CH_4 = 0.1250 \text{ (m}^3 \text{ CH}_4/\text{día)}$$

$$\text{Volumen de } CO_2 + N_2 + H_2 + H_2S = 0.1250 \cdot 0.4 / 0.6 \text{ (m}^3 \text{ CH}_4/\text{día)}$$

$$\text{CO}_2 + \text{N}_2 + \text{H}_2 + \text{H}_2\text{S} = 0.0833 \text{ (m}^3 \text{ CH}_4\text{/día)}$$

$$\text{Volumen de biogás} = \text{CH}_4 + (\text{CO}_2 + \text{N}_2 + \text{H}_2 + \text{H}_2\text{S})^5 = 0.1250 + 0.0833$$

$$\text{Volumen de biogás} = 0.2083 \text{ (m}^3 \text{ biogás/día)}.$$

De esta forma se multiplica por el número de cabezas por cada municipio y se obtiene el potencial de generación de metano y de biogás respectivamente.

Cuadro 18. Potencial de generación de biogás de los principales municipios productores de cerdo en Puebla (m³ año⁻¹)

	Cabezas	Biogás m ³ año ⁻¹	CH4 m ³ año ⁻¹
PUEBLA	753,121	57,248,210	34,348,926
Ajalpan	30,301	2,303,319	1,381,991
Atexcal	97,280	7,394,703	4,436,822
Atlixco	36,322	2,761,003	1,656,602
Chalchicomula de sesma	14,517	1,103,504	662,103
Chila	90,802	6,902,280	4,141,368
Huaquechula	14,816	1,126,233	675,740
San José Miahuatlán	11,043	839,430	503,658
Tecamachalco	16,406	1,247,096	748,258
Tehuacán	26,960	2,049,354	1,229,613
Tepanco de López	77,223	5,870,077	3,522,046
Tochtepec	12,684	964,170	578,502

Fuente: Elaboración propia

4.3 Metodología para la estimación de CO₂e

Para determinar la reducción de CO₂e por el uso de energía renovable a través de biodigestores se utilizó la metodología AM0016 (CMNUCC, 2004).

$$\text{CO}_{2\text{eq methane}} = \text{CH}_{4\text{annual}} * \text{GWP}_{\text{CH}_4}/1000 \quad [11]$$

Donde:

CO_{2eq methane} = Emisiones del dióxido de carbono equivalente en toneladas métricas.

CH_{4 annual} = Metano producido en kg/año.

GWP_{CH₄} = Potencial de Calentamiento Global del metano (GWP_{CH₄}= 21).

Una vez calculada la generación de metano por municipio se procedió a calcular las emisiones de CO₂e, con la información de CH₄ por municipio del cuadro 17, se calculó el potencial de reducción de CO₂e, mediante la ecuación número 11.

4.4 Metodología para determinar el potencial de generación de energía eléctrica

Para medir el potencial de generación de energía eléctrica se empleó la metodología de (EPA, 2006).

$$\text{KWh/yr} = \text{CH}_4 * 1.010 \text{ Btu/ft}^3 \text{ CH}_4 * \text{KWh/3413 Btu} * 0.25 * 0.9 \quad [12]$$

Kwh/yr = Kilowatt-hora al año

Contenido de BTU/ft³ en el metano = 1010 BTU/ft³

Eficiencia de la conversión de metano a electricidad = 0.25

Eficiencia en línea = 0.9

4.5 Indicadores de factibilidad financiera

El análisis de factibilidad financiera se realizó en base a la metodología de evaluación de proyectos (Baca, 2001). Se estimaron indicadores financieros como Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR) Y Relación Beneficio Costo (B/C). Para sistema completo biodigestor-motogenerador en tamaños de granja de 500, 1000, 2000, 3000 y 5000 cerdos.

Valor Actual Neto (VAN)

Se determina por la diferencia entre la sumatoria de valores de la corriente de beneficios menos la del valor actual de la corriente de costos. Para estimar el valor actual de ambos flujos se utiliza una tasa de actualización previamente determinada (Gittinger, 1983).

Es el valor monetario que resulta de restar la suma de los flujos descontados a la inversión inicial (Baca, 2001: 213).

En términos matemáticos tenemos:

$$VAN = \sum_{t=1}^T B_t(1+r)^{-t} - \sum_{t=1}^T C_t(1+r)^{-t} \quad [13]$$

Donde:

B_t = Beneficio anual del proyecto

C_t = Costo anual del proyecto

$(1 + r)^{-t}$ = Factor de actualización

t = Período de capitalización (tiempo)

T = Número de años de vida útil del proyecto

La VAN expresa los beneficios netos totales que se recibirán durante la vida útil del proyecto, su valor cuantitativo nos indica lo siguiente:

$VAN > 0$ La inversión producirá ganancias, por lo tanto puede ser aceptado el proyecto.

$VAN = 0$ La inversión no producirá ni ganancias ni pérdidas.

$VAN < 0$ La inversión producirá pérdidas, o bien a la tasa de actualización establecida, el valor actual de la corriente de los costos, entonces, el proyecto debe rechazarse.

- Ventajas
 - Es de fácil determinación e interpretación.
 - Por ser el VAN un valor absoluto, permite con mucha facilidad determinar la VAN de la integración de otros proyectos, son sólo la suma de estos valores.
 - Es muy utilizado como criterio de selección en proyectos excluyentes entre sí, cuando estos tienen la misma magnitud de inversión inicial.
 - Con el cálculo de la VAN, se podría predecir con anticipado si el valor de la B/C será mayor o será menor que uno.
- Desventajas
 - Que para calcular este indicador es necesario establecer previamente una tasa de actualización adecuada.

- Por ser el VAN un valor absoluto, no es posible una calificación aceptable entre varios proyectos independientes de diferentes magnitudes. Un proyecto pequeño, muy rentable, puede tener un VAN menor que uno grande que resulte no muy rentable.
- El VAN presenta valores diferentes cuando se calcula éste considerando el período de actualización con período cero y con período uno, siendo la diferencia entre una opción u otra, igual en porcentaje a la tasa de actualización seleccionada a favor de la primera opción.

Tasa Interna de Retorno (TIR)

La tasa interna de retorno mide la rentabilidad promedio que tiene un determinado proyecto. Matemáticamente, corresponde a aquella tasa de descuento que hace el VAN igual a cero.

$$-I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{BN_t}{(1+TIR)^t} = 0 \quad [14]$$

El criterio de decisión al aplicar la TIR es el siguiente:

- Si la TIR es mayor que la tasa social de descuento: es conveniente ejecutar el proyecto
- Si la TIR es igual que la tasa social de descuento: es indiferente ejecutar el proyecto
- Si la TIR es menor que la tasa social de descuento: no es conveniente ejecutar el proyecto

Cabe señalar que la TIR se usa complementariamente al VAN, ya que normalmente son criterios equivalentes, es decir, un VAN positivo conlleva una TIR mayor que la tasa de descuento.

Relación Beneficio Costo (B/C)

Es el cociente que resulta de la sumatoria del valor actual de la corriente de beneficios y la sumatoria del valor actual de la corriente de costos. Para estimar el valor actual de ambos flujos, se considera una tasa de acumulación previamente determinada (Gittinger, 1983).

Expresado en términos matemáticos tenemos:

$$B/C = \frac{\sum_{t=1}^T \frac{B_t(1+r)^{-t}}{T}}{\sum_{t=1}^T \frac{C_t(1+r)^{-t}}{T}} \quad [15]$$

Donde:

B_t = Beneficio anual del proyecto

C_t = Costo anual del proyecto

$(1 + r)^{-n}$ = Factor de actualización

t = Período de capitalización

T = Número de años de la vida útil del proyecto

El valor cuantitativo de la relación beneficio-costos indica que:

Si $B/C > 1$, los ingresos son mayores que los egresos, entonces el proyecto es aceptable.

Si $B/C = 1$, los ingresos son iguales que los egresos, entonces es indiferente llevar a cabo el proyecto.

Si $B/C < 1$, los ingresos son menores que los egresos, entonces el proyecto no se acepta.

- Ventajas

- Es de fácil determinación e interpretación.

- A través de este indicador se puede determinar hasta que porcentaje se pueden incrementar los costos a fin de que se igualen a los beneficios; o también que porcentaje podrían disminuir los beneficios a fin de que se igualen a los costos. Esto es muy importante cuando pueden ocurrir variaciones en los costos o en los beneficios antes de que se ejecute el proyecto.

- El cálculo de B/C , podrá predecir con anticipación si el VAN será mayor o menor a cero.

- La B/C presenta el mismo valor, para cualquiera de las dos opciones de actualizar los costos y los beneficios.

- Desventajas

- Este indicador, requiere que previamente se haya establecido la tasa de actualización adecuada.
- Por ser la B/C; un valor relativo, no considera la escala del proyecto entre varias alternativas, y es de menor utilidad en decisiones de grandes inversiones sobre todo cuando se tiene que comparar con inversiones pequeñas.

4.6 Presupuestos para sistema biodigestor-motogenerador para diferentes tamaños de granja

Para el análisis financiero se contemplaron los presupuestos de los sistemas completos biodigestor-motogenerador para granjas de 500, 1000, 2000, 3000 y 5000 cerdos. Los presupuestos están basados en las cotizaciones de varios proveedores de México.

Gastos de mantenimiento del biodigestor por año: \$ 18,423

Gastos de mantenimiento del motogenerador por año: \$ 10,000.

Se considera que el motogenerador de capacidad 10 kW trabaje 24 horas por día, 26 días por mes. De esta forma estaría operando 312 días al año. Con una eficiencia del 80%, en un año estaría generando 59,904 kW.

Por el lado de los ingresos se consideran:

- El valor residual del motogenerador.

Depreciación anual = \$ 11,597

Presupuesto e ingresos para tamaño de granja de 500 cerdos

Cuadro 19. Presupuesto del sistema biodigestor-motogenerador para una granja de 500 cerdos (\$)

Concepto	Descripción	Costo
Ingeniería y diseño	Planos y seguimiento	\$ 50,000
Fosa de mezclado	Concreto armado y monolítica, incluyendo bomba de lodos.	\$ 80,000
Biodigestor	670 m ³	\$ 180,000
Sistema de Manejo de Gases		\$ 90,000
Quemador		\$ 60,000
Laguna Secundaria	De 3mx3mx2m revestida con geomembrana negro humo calibre 30 (0.75mm).	\$ 14,000
Filtro	Filtro de biogás con vida útil de 12 meses	\$ 10,000
Total		\$ 584,000
Motogenerador	Capacidad 10 kW	\$ 115,971
Costo del sistema Biodigestor-motogenerador		\$ 699,971
Fuente: Diversos proveedores		

- Ahorro por consumo de energía eléctrica:

Costo kw/h = \$ 2.2¹⁸

Generación de energía eléctrica por el motogenerador = 59,904 kW.

Se multiplican estos dos conceptos y obtenemos el ahorro por consumo de energía eléctrica.

Ahorro por consumo de energía eléctrica = \$ 131,789 por año.

- Ingreso por venta de biofertilizante.

La granja de 500 cerdos producirá al mes una cantidad de 6¹⁹ toneladas.

De acuerdo con un sondeo en la región centro del país la tonelada de biofertilizante se cotiza entre 400 y 1000 pesos. Para este análisis se está considerando un precio de 400 pesos.

Ingreso mensual por biofertilizante = \$ 2,400

¹⁸ Se estimó el costo real por kW que pagan algunas granjas en Puebla.

¹⁹ La producción de biofertilizante se determinó en base al tamaño de granja de 5000 cerdos, que en promedio producen 60 toneladas por mes. Para los otros tamaños de granja se determinó una relación proporcional.

Presupuesto e ingresos para tamaño de granja de 1000 cerdos

Gastos de mantenimiento del biodigestor: \$ 23,943.

Gastos de mantenimiento del motogenerador: \$ 30,000.

Se considera que el motogenerador de capacidad 30 kW trabaje 24 horas por día, 26 días por mes. De esta forma estaría operando 312 días al año. Con una eficiencia del 65%, en un año estaría generando 146,016 kW.

Cuadro 20. Presupuesto del sistema biodigestor-motogenerador para una granja de 1000 cerdos (\$)

Concepto		Costo
Ingeniería y diseño	Planos y seguimiento	\$ 150,000
Fosa de mezclado	Concreto armado y monolítica, incluyendo bomba de lodos.	\$ 160,000
Biodigestor	1,450 m ³	\$ 270,000
Sistema de Manejo de Gases		\$ 90,000
Quemador		\$ 60,000
Laguna Secundaria	De 5mx5mx2m revestida con geomembrana negro humo calibre 30 (0.75mm).	\$ 19,000
Filtro	Filtro de biogás con vida útil de 12 meses.	\$ 10,000
Total		\$ 759,000
Motogenerador	Capacidad 30 kW	\$ 341,964
Instalación		\$ 153,884
Total Motogenerador		\$ 495,848
Costo del sistema Biodigestor-motogenerador		\$ 1,254,848

Fuente: Diversos proveedores

Por el lado de los ingresos se consideran:

- El valor residual del motogenerador.

Depreciación anual = \$ 34,196

- Ahorro por consumo de energía eléctrica:

Costo kWh = \$ 2.2.

Generación de energía eléctrica por el motogenerador = 146,016 kW.

Se multiplica estos dos conceptos y obtenemos el ahorro por consumo de energía eléctrica.

Ahorro por consumo de energía eléctrica = \$ 321,235

- Ingreso por venta de biofertilizante.

Una granja de 1000 cerdos producirá al mes una cantidad de 12 toneladas.

Ingreso mensual por biofertilizante = \$ 4,800.

Presupuesto e ingresos para tamaño de granja de 2000 cerdos

Cuadro 21. Presupuesto del sistema biodigestor-motogenerador para una granja de 2000 cerdos (\$)

Concepto		Costo
Ingeniería y diseño	Planos y seguimiento	\$ 150,000
Fosa de mezclado	Concreto armado y monolítica, incluyendo bomba de lodos.	\$ 210,000
Biodigestor	2,700 m ³	\$ 420,000
Sistema de Manejo de Gases		\$ 90,000
Quemador		\$ 60,000
Laguna Secundaria	De 10mx10mx2m revestida con geomembrana negro humo calibre 30 (0.75mm).	\$ 25,000
Filtro	Filtro de biogás con vida útil de 12 meses	\$ 30,000
Total		\$ 985,000
Motogenerador	Capacidad 30 kW	\$ 341,964
Instalación		\$ 153,884
Total Motogenerador		\$ 495,848
Costo del sistema Biodigestor-motogenerador		\$ 1,480,848

Fuente: Diversos proveedores

Gastos de mantenimiento del biodigestor: \$ 31,073.

Gastos de mantenimiento del motogenerador: \$ 30,000.

Por el lado de los ingresos se consideran:

- El valor residual del motogenerador.

Depreciación anual = \$ 34,196

- Ahorro por consumo de energía eléctrica:

Ahorro por consumo de energía eléctrica = \$ 321,235

- Ingreso por venta de biofertilizante.

Una granja de 2000 cerdos producirá al mes una cantidad de 24 toneladas.

Ingreso mensual por biofertilizante = \$ 9,600.

Presupuesto e ingresos para tamaño de granja de 3000 cerdos

Cuadro 22. Presupuesto del sistema biodigestor-motogenerador para una granja de 3000 cerdos (\$)

Concepto		Costo
Ingeniería y diseño	Planos y seguimiento	\$ 150,000
Fosa de mezclado	Concreto armado y monolítica, incluyendo bomba de lodos.	\$ 270,000
Biodigestor	4,100 m ³	\$ 680,000
Sistema de Manejo de Gases		\$ 90,000
Quemador		\$ 60,000
Laguna Secundaria	De 16mx16mx2m revestida con geomembrana negro humo calibre 30 (0.75mm).	\$ 30,000
Filtro	Filtro de biogás con vida útil de 12 meses	\$ 30,000
Total		\$ 1,310,000
Motogenerador	Capacidad 60 kW	\$ 468,470
Instalación		\$ 210,811
Total Motogenerador		\$ 679,281
Costo del sistema Biodigestor-motogenerador		\$ 1,989,281

Fuente: Diversos proveedores

Gastos de mantenimiento del biodigestor: \$ 41,325.

Gastos de mantenimiento del motogenerador: \$ 41,000.

Se considera que el motogenerador de capacidad 60 kW trabaje 24 horas por día, 26 días por mes. De esta forma estaría operando 312 días al año. Con una eficiencia del 65%, en un año estaría generando 292,032 kW.

Por el lado de los ingresos se consideran:

- El valor residual del motogenerador.

Depreciación anual = \$ 46,847.

- Ahorro por consumo de energía eléctrica:

Ahorro por consumo de energía eléctrica = \$ 642,470.

- Ingreso por venta de biofertilizante.

Una granja de 3000 cerdos producirá al mes una cantidad de 36 toneladas.

Ingreso mensual por biofertilizante = \$ 14,400.

Presupuesto e ingresos para tamaño de granja de 5000 cerdos

Cuadro 23. Presupuesto del sistema biodigestor-motogenerador para una granja de 5000 cerdos (\$)

Concepto		Costo
Ingeniería y diseño	Planos y seguimiento	\$ 150,000
Fosa de mezclado	Concreto armado y monolítica, incluyendo bomba de lodos.	\$ 320,000
Biodigestor	6,846 m ³	\$ 900,000
Sistema de Manejo de Gases		\$ 90,000
Quemador		\$ 60,000
Laguna Secundaria	De 20mx20mx2m revestida con geomembrana negro humo calibre 30 (0.75mm)	\$ 35,000
Filtro	Filtro de biogás con vida útil de 12 meses	\$ 30,000
Total		\$ 1,585,000
Motogenerador	Capacidad 60 kW	\$ 468,470
Instalación		\$ 210,811
Total Motogenerador		\$ 679,281
Costo del sistema Biodigestor-motogenerador		\$ 2,264,281

Fuente: Diversos proveedores

Gastos de mantenimiento del biodigestor: \$ 50,000.

Gastos de mantenimiento del motogenerador: \$ 41,000.

Por el lado de los ingresos se consideran:

- El valor residual del motogenerador.

Depreciación anual = \$ 46,847.

- Ahorro por consumo de energía eléctrica:

Ahorro por consumo de energía eléctrica = \$ 642,470.

- Ingreso por venta de biofertilizante.

Una granja de 5000 cerdos producirá al mes una cantidad de 60 toneladas.

Ingreso mensual por biofertilizante = \$ 24,000.

CAPITULO V SITUACIÓN ACTUAL DE GENERACIÓN DE BIOGÁS EN GRANJAS PORCINAS Y POTENCIAL EN PUEBLA

De los apartados 5.1 a 5.4 fueron desarrollados en base a información proporcionada por FIRCO gerencia Puebla.

5.1 Situación antes de apoyos de FIRCO en Puebla

El estado de Puebla en 2001 representó el tercer lugar en producción de carne de cerdo en canal con el 9.59% de la producción en México. En el período de 2001 a 2011 presentó la mejor tasa de crecimiento anual dentro de los tres principales productores de carne de cerdo en canal en México con el 3.44%²⁰. La SAGARPA a través de FIRCO comienza a apoyar proyectos de biodigestores y motogeneradores en el año 2008. Los apoyos han permitido que las granjas sean más competitivas y logren importantes ahorros en el concepto de energía eléctrica.

Granjas que contaban con biodigestor en el estado de Puebla antes de los apoyos de FIRCO

En el estado de Puebla otros organismos apoyaron proyectos de biodigestores en granjas porcinas, fundamentalmente derivado del Protocolo de Kyoto a través de proyectos de Mecanismos de Desarrollo Limpio que busco fundamentalmente la comercialización de bonos de carbono. Desafortunadamente este tipo de proyectos no tuvieron continuidad por parte de las empresas desarrolladoras.

En la entidad hay siete proyectos que ya contaban con biodigestor y posteriormente fueron apoyados por el FIRCO con motogenerador. Dos granjas se encuentran en el municipio de Atlixco, tres en Tehuacán, una en Huaquechula y una en San Martin Atexcal.

Estas granjas se encuentran en los municipios de Atlixco, Tehuacán, Huaquechula y San Martin Atexcal. Las granjas concentradas en estos municipios generan 10,803,804 m³ año⁻¹ de biogás (ver figura 12).

²⁰ Estimaciones propias con datos de SIAP-SAGARPA

Cabe destacar que el municipio donde se produce mayor cantidad de biogás es Tehuacán, ya que produce el 47.5% del gas de las siete granjas de Puebla que ya contaban con un sistema de biogás antes de los apoyos de FIRCO.

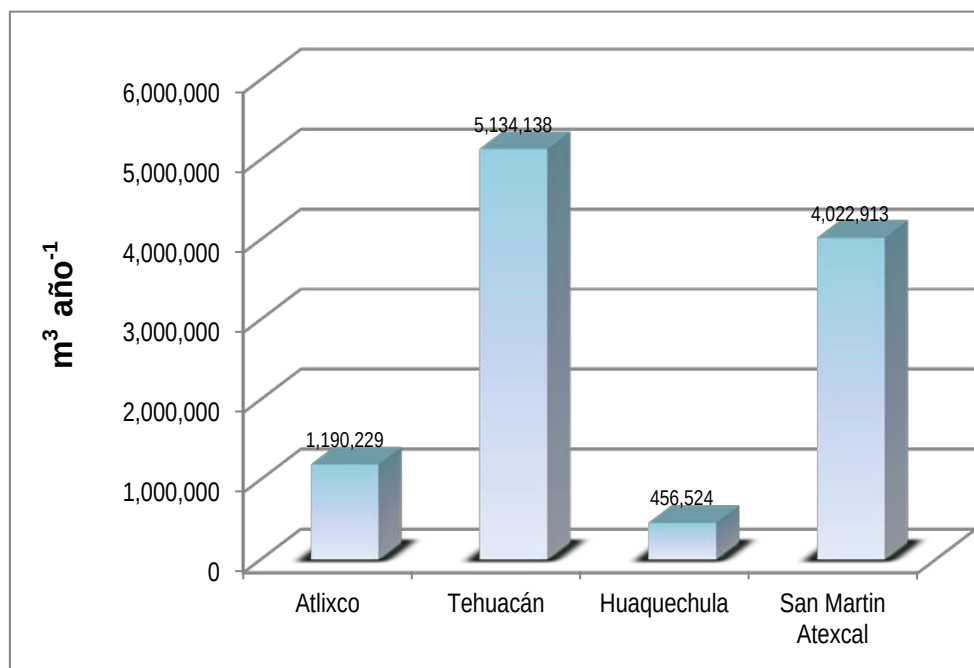


Figura 12. Producción de biogás de granjas que ya contaban con biodigestor antes de los apoyos de FIRCO (m³ año⁻¹)

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por FIRCO gerencia Puebla.

La generación de biogás está directamente relacionada con el número de animales en las granjas, teniendo mayor concentración en este caso para los municipios de Tehuacán y San Martin Atexcal.

Reducción de emisiones de CO₂e antes de apoyos de FIRCO

Como se ha mencionado anteriormente el verdadero beneficio de los proyectos de biodigestion en la actividad pecuaria se refleja en el mejoramiento de las condiciones laborales dentro de las granjas, reducción de problemas de salud y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

Estos siete proyectos logran en su conjunto dejar de emitir 59,071 Ton CO₂e al año por el quemado de biogás (ver figura 13).

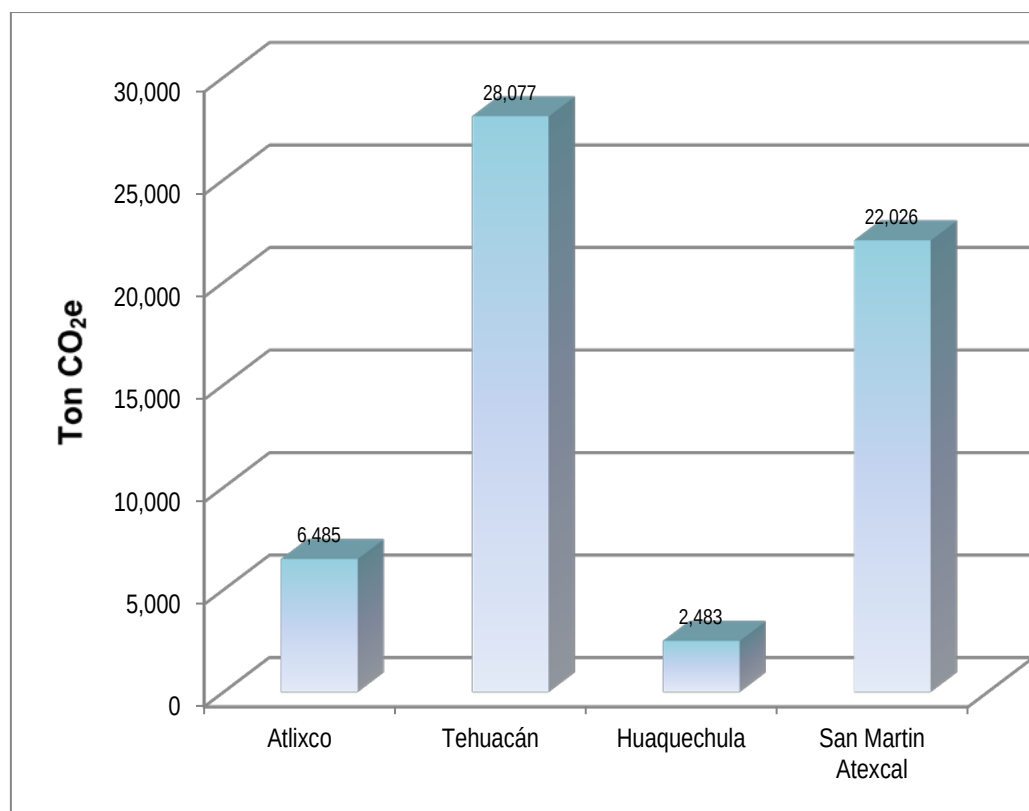


Figura 13. Reducción de emisiones de granjas que ya contaban con biodigestor antes de los apoyos de FIRCO (Ton CO₂e)

Fuente: Elaboración propia con datos de FIRCO gerencia Puebla.

La mayoría de la población relaciona la actividad porcícola como degradante y de las actividades con mayor riesgo de salud. Cabe mencionar que la mayoría de granjas no tiene un correcto manejo de sus desechos lo cual conlleva a que existan problemas de contaminación de agua, flora y fauna nociva alrededor de las unidades de producción, problemas de salud de los empleados y de la población cercana. Pero actualmente con la difusión de los sistemas de biodigestión que han probado su eficiencia muchas granjas quieren adoptar este tipo de tecnología que además de obtener el beneficio económico que es uno de los factores más importantes para que los productores se interesen en la tecnología, es el aspecto ambiental que mejora considerablemente. Es por ello que cada vez hay más interés por los productores para adoptar sistemas de energía renovable.

5.2 Situación de los proyectos después de los apoyos por FIRCO

Los proyectos de biodigestión en el estado de Puebla comienzan a tener presencia en 2008 cuando en el estado FIRCO apoyó a dos granjas porcinas, en los municipios de Juan C. Bonilla y Huaquechula respectivamente. En 2010 el FIRCO apoya nuevamente a dos granjas porcinas en los municipios de Tecamachalco y Tenextepec. Para 2012 la eficiencia de los sistemas causa que un mayor número de productores se interesen en energía renovable para la producción de biogás, debido a los beneficios energéticos y ambientales que generan estos sistemas; en dicho año, seis biodigestores fueron apoyados por el FIRCO en la entidad, en los municipios de Tepapayeca, San Felipe Ayutla, La Magdalena Cuayucatepec, Tlapetlahuaya y San Luís Temalacayuca.

El promedio de cerdos de las granjas apoyadas en 2008, 2010 y cuatro proyectos de 2011 es de 4,551 animales. Mientras que dos granjas apoyadas en 2011 en el municipio de San Luís Temalacayuca contaban con 16,000 y 22,533 cerdos respectivamente.

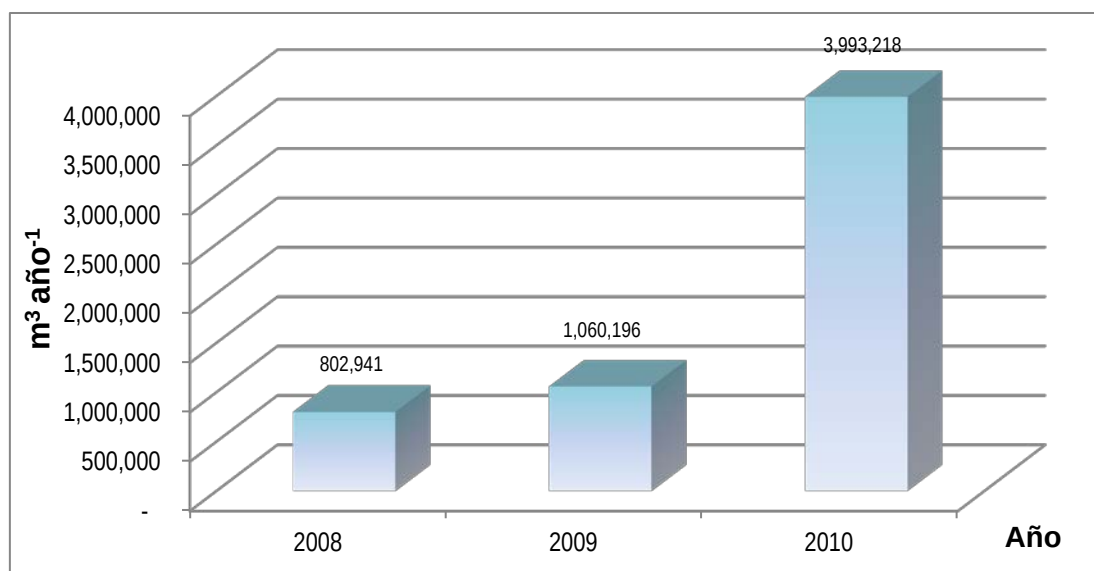


Figura 14 Producción de Biogás después de los apoyos por FIRCO (m³ año⁻¹)

Fuente: elaboración propia con datos de FIRCO

El producto principal obtenido por el uso de biodigestores es un combustible que puede sustituir el uso de combustibles de origen fósil empleados en equipos para la

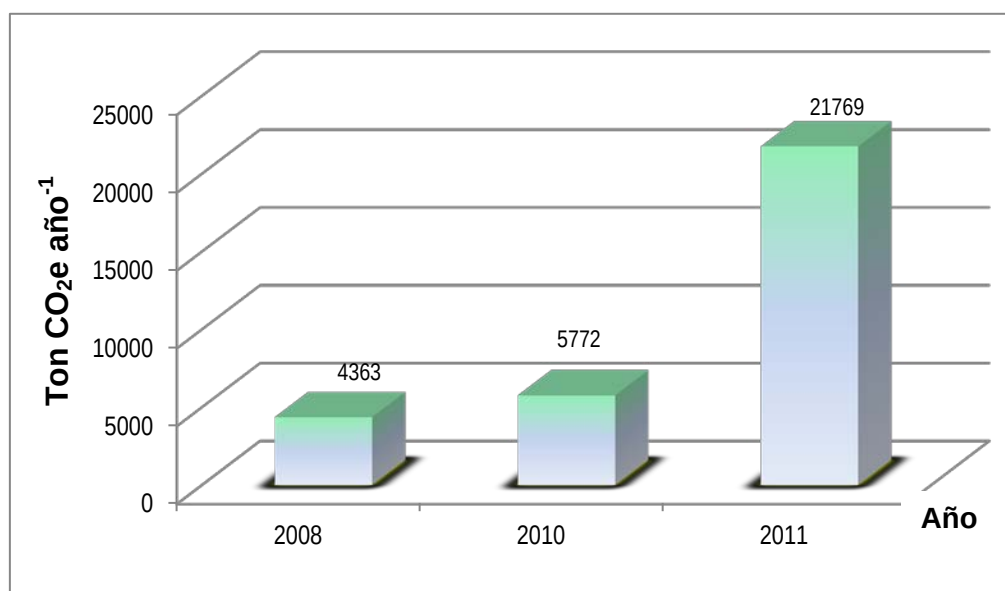
generación de energía eléctrica. Dicho combustible es biogás. Los dos proyectos apoyados en 2008, generaron 802,941 m³ año⁻¹ de biogás (figura 14). Los proyectos apoyados por FIRCO a partir de 2012 generan 5,856,355 m³ año⁻¹ de biogás.

Cabe destacar que el 100% de los biodigestores apoyados en el estado son de tipo laguna, esto se debe fundamentalmente a que este tipo de tecnología se adapta mejor a las condiciones de manejo de materia orgánica de las granjas, son más económicos en cuanto a inversión y a mantenimiento.

Reducción de emisiones de CO₂e de los proyectos apoyados por FIRCO

Como se ha mencionado anteriormente el metano es el gas de efecto invernadero 21 veces más dañino que el CO₂, la ganadería contribuye de forma significativa a la emisión de este gas.

El aspecto ambiental ha sido el eje central de las políticas de organismos internacionales para el apoyo de proyectos que contribuyan a la disminución de este tipo de gases.



**Figura 15. Reducción de emisiones de los proyectos apoyados por el FIRCO
(Ton CO₂e año⁻¹)**

Fuente: elaboración propia con datos de FIRCO gerencia Puebla.

Los proyectos apoyados por el FIRCO en 2008 tienen efectos favorables sobre las condiciones medioambientales, es decir, contribuyen en una reducción por año de 4,363 Toneladas de CO₂e (ver figura 15).

Cabe destacar que el esfuerzo del FIRCO, así como de los productores por implementar este tipo de sistemas logro que para el año 2011, se dejaran de emitir a la atmósfera 31,904 Ton CO₂e anuales por el quemado de biogás derivado de los proyectos apoyados por este organismo gubernamental.

5.3 Motogeneradores apoyados por FIRCO

Generación de energía eléctrica kW año⁻¹

La generación de energía eléctrica es una de los principales elementos que toman en cuenta los productores para realizar una inversión primeramente en sistema de biodigestión y posteriormente en un motogenerador eléctrico operado con biogás.

El FIRCO en la entidad en 2008 comienza con el apoyo de motogeneradores de energía eléctrica debido a la necesidad de las granjas. Motivados fundamentalmente por tratar de reducir costos de operación que favorezcan la eficiencia en los sistemas de producción.

El FIRCO del año 2008 al 2012 apoyó a 18 proyectos para motogeneradores, el total de energía eléctrica utilizada en las granjas de estos proyectos es de 4,018,010 kW año⁻¹. Con la operación de los sistemas de generación se produjeron 2,901,974 kW año⁻¹, es decir, se está cubriendo el 72.22% del total de energía eléctrica empleada en las granjas (ver figura 16).

FIRCO apoyó un proyecto en 2008, el cual cubre el 83.20% de su consumo total de energía eléctrica requerida para su operación. En 2009 apoyó nuevamente un proyecto el cual cubre el 91.92% del total de energía eléctrica empleada en el sistema.

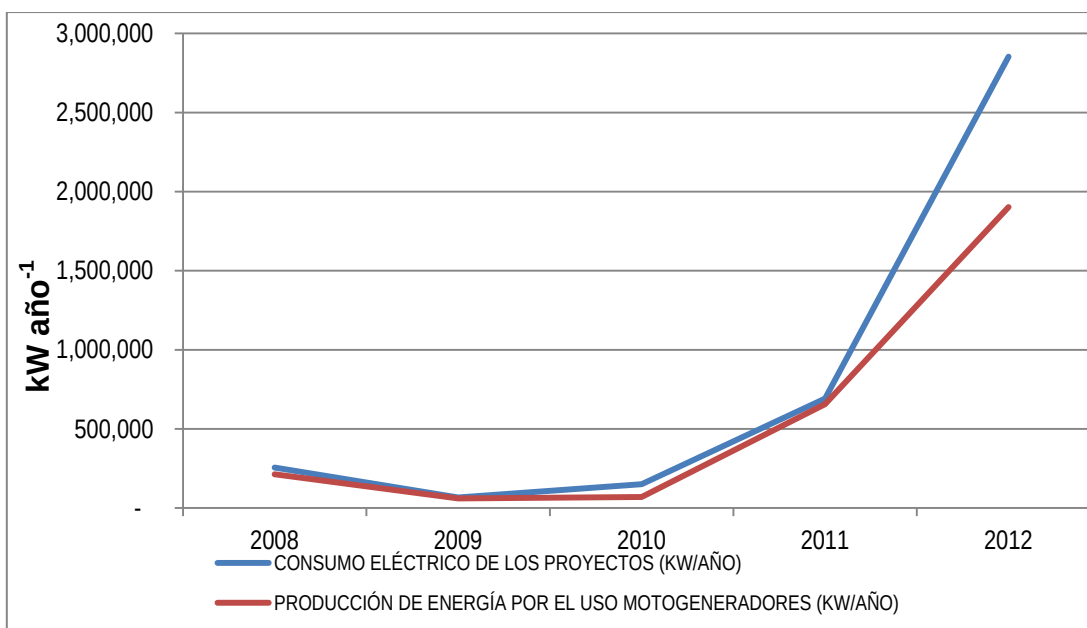


Figura 16. Producción de energía eléctrica de motogeneradores apoyados por el FIRCO (kW año⁻¹)

Fuente: elaboración propia con información de FIRCO gerencia Puebla

Para 2010 fueron dos proyectos que cubren el 46.36% del total de energía requerida en las granjas. En el año 2011 FIRCO apoyo 6 proyectos de motogeneradores mismos que alcanzaron cubrir el 94.84% del total de energía requerida en las granjas. En el 2012 el número de proyectos apoyados fue de ocho mismos que en promedio cubrieron el 66.66% de la energía eléctrica requerida en las unidades de producción.

Equivalencia energética del biogás en relación con otros combustibles

1 m³ de biogás (60% de metano) equivale a:²¹

- 0.71 litros de gasolina
- 0.55 litros de diésel
- 0.45 litros de gas licuado de petróleo

La importancia de los motogeneradores operados con biogás no solamente radica en la generación de energía eléctrica en las granjas. Además de la reducción de

²¹ Citado por el Ing. Marcelo Muños R., en Modelos de Gestión Limpia para Residuos Municipales. Escuela Politécnica Nacional. Departamento del Medio Ambiente, 2004. Quito, Ecuador.

emisiones de CO₂e por el quemado de biogás utilizado en los sistemas, se desplazarían importantes volúmenes de combustibles fósiles que se utilizan en equipos similares para la generación de energía eléctrica. Estamos hablando de un doble beneficio para el medio ambiente.

Los proyectos de motogeneradores en el estado de Puebla utilizan en su conjunto 1,639,685 m³ de biogás al año para producir energía eléctrica en las unidades de producción.

Tenemos que 1,639,685 m³ de biogás equivalen a dejar de utilizar 1,164,176 litros de gasolina al año.

Por otra parte si el comparativo se realiza con equipos que emplean diésel para generar energía eléctrica en granjas. El equivalente sería el dejar de utilizar 901,827 litros de este tipo de combustible de origen fósil.

Finalmente si el comparativo se hace con uno de los combustibles de origen fósil de mayor importancia que es el gas licuado de petróleo. Se estarían desplazando por el empleo de biogás en las granjas, un total de 737,858 litros.

5.4 Ahorro de las granjas en costos de energía eléctrica

Uno de los principales problemas que enfrentan no solo las granjas porcinas, sino todas las empresas, son los costos de producción. Este aspecto es uno de los principales factores que ocasionan el cierre de las empresas en todo el mundo.

Por el lado del sector pecuario los elevados costos de producción han ocasionado que muchas de las granjas sobre todo de traspatio que cuentan con un número reducido de animales no puedan mantenerse en el mercado.

En base a la experiencia operativa de los sistemas de biodigestión que tiene FIRCO, la viabilidad técnico económica de los sistemas de obtención de biogás para la generación de energía eléctrica se da como mínimo con las excretas generadas por 300 vientres (3,000 animales), sin embargo en la actualidad se están buscando esquemas de apoyo a unidades de mediana escala donde se prevé la instalación de motogeneradores de menor capacidad.

Se están considerando las siguientes tarifas eléctricas para la zona sur donde se encuentra el estado de Puebla.

La mayoría de las granjas porcinas apoyadas por el FIRCO tiene una tarifa OM la cual oscilo entre en rango de 0.98 \$ kW y 1.33 \$ kW del año de 2008 a 2012. Para la tarifa promedio total de un kW en una granja porcina depende además del cargo por kilowatt de demanda máxima medida de cada granja.

Cuadro 24. Tarifas promedio para la zona sur de México (\$ kWh⁻¹)

Año	Cargo por kilowatt de demanda máxima medida	Cargo por kWh ⁻¹ de energía consumida	Costo promedio kWh ⁻¹ en las granjas ²²
2008	\$135.72	1.19	\$2.24
2009	\$142.56	0.98	\$1.85
2010	\$147.18	1.14	\$2.15
2011	\$154.87	1.26	\$2.37
2012	\$163.75	1.33	\$2.50

Fuente: Elaboración propia con datos de la CFE. (Consultado 9-4-2013). www.cfe.gob.mx

En la figura 17 se puede apreciar el ahorro total por año en energía eléctrica por el empleo de motogeneradores en las granjas porcinas. Se puede notar que a partir de 2012 el ahorro total derivado de los proyectos de FIRCO es de 6,590,163 pesos por año.

Las dieciocho granjas apoyadas por el FIRCO con motogeneradores están ahorrando en promedio el 87.54% de sus costos en energía eléctrica. Hay gran satisfacción y entusiasmo por parte de los productores por estos equipos debido a la generación de energía y mejora en las condiciones generales de las unidades de producción.

En el Estado de Puebla el FIRCO ha apoyado un total de 18 proyectos en granjas porcinas a través de motogeneradores eléctricos desde 2008 a 2012. El 88.9% de las granjas apoyadas tiene en promedio 5,247 cabezas.

²² Estimación propia en base al costo por kWh⁻¹ que pagan diversas granjas porcícolas en Puebla.

Las granjas que tienen en promedio 5,247 animales tienen un ahorro promedio anual de 270,388 pesos por la generación de energía generada por los motogeneradores apoyados por el FIRCO.

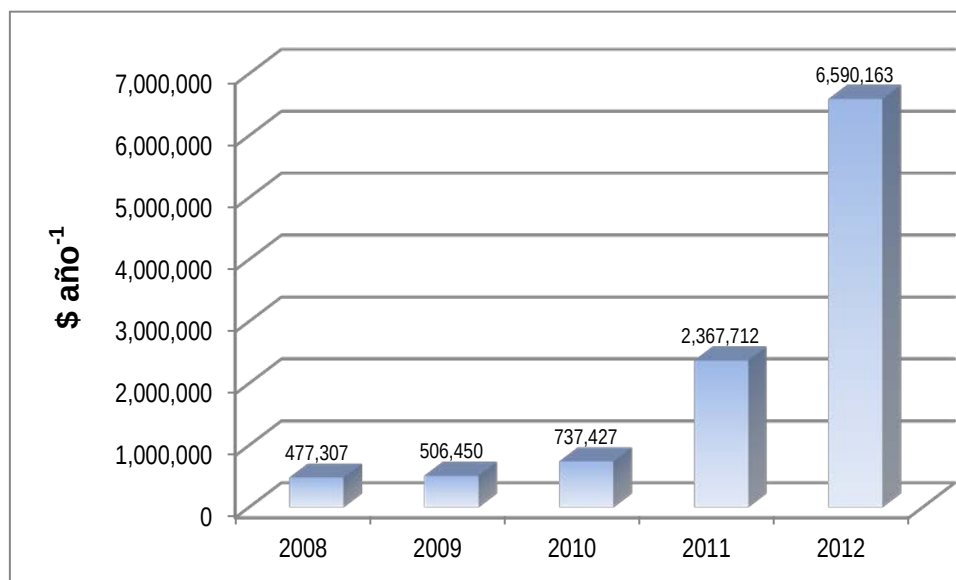


Figura 17. Ahorro en energía eléctrica de los proyectos de FIRCO (\$ año⁻¹)

Fuente: Elaboración propia con información proporcionada por FIRCO gerencia Puebla.

La importancia de los proyectos de generación de energía eléctrica está siendo muy significativo para las granjas porcinas en el estado de Puebla. Estamos hablando que con este tipo de tecnología renovable las granjas en promedio están ahorrado el 87.54% del total de sus costos que tenían por el pago de electricidad antes de los apoyos por parte del FIRCO.

5.5 Potencial de generación de biogás para los principales municipios de cerdo en Puebla

En el siguiente apartado se analiza un potencial teórico sobre generación de biogás, energía eléctrica y reducción de CO₂ equivalente para los principales municipios productores de cerdo en el estado de Puebla. Un aspecto esencial para una eficiente producción de biogás es un sistema de manejo de excretas adecuado que solo es posible en granjas tecnificadas y semitecnificadas.

La situación para pequeñas unidades de producción (traspatio), es que la generación de biogás disminuirá considerablemente por diversos factores, como por ejemplo, la tecnología contemplada (no se utilizaría un biodigestor tipo laguna cubierta). El sistema de manejo de excretas en estas explotaciones en la mayoría de los casos es utilizado el sistema de paleo y para el caso de generación de energía eléctrica en estas pequeñas unidades de producción no es viable la instalación de un motogenerador.

El estado de Puebla es una de las entidades más importantes en la producción de cerdos en México y presenta un gran potencial para la generación de biogás por la cantidad de materia orgánica generada en la actividad.

Puebla tiene un gran potencial en la actividad porcícola para generar biogás y electricidad a través de los desechos de las granjas. En la entidad de acuerdo al Censo Agrícola Ganadero y Forestal 2007, Puebla contaba con 753,121 cerdos. Con base en la metodología empleada en el presente estudio, la entidad tiene un potencial para generar 57,248,210 metros cúbicos de biogás al año.

Potencial de generación de biogás para los principales municipios productores de cerdo en Puebla

Los altos precios en los combustibles de origen fósil han provocado que productores pecuarios alrededor del mundo se interesen por el uso de energía renovable que además de proporcionarles energía limpia contribuyen a mejorar condiciones laborales en las granjas y de este manera disminuir problemas de contaminación de aire, agua y suelo. Además de reducir costos de producción.

La actividad porcícola en la entidad se concentra en once municipios los cuales representan el 57% del potencial de generación de biogás en el estado.

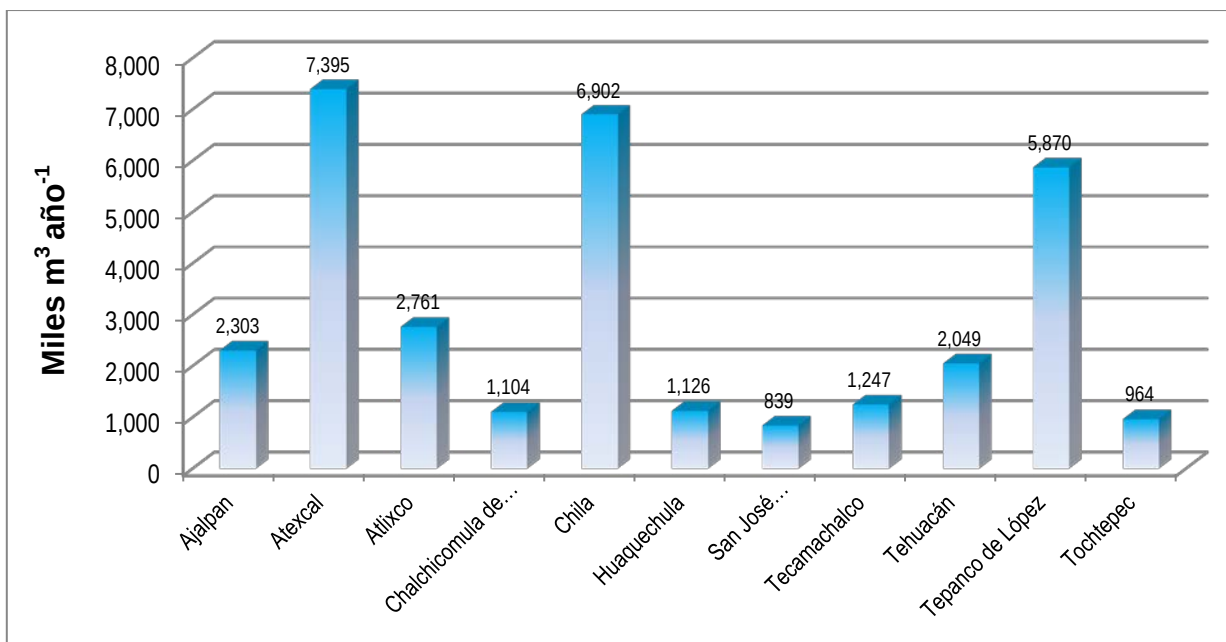


Figura 18. Potencial de generación de biogás de los principales municipios productores de cerdo en el Estado de Puebla (Miles m³ año⁻¹).

Fuente: Elaboración propia en base al Censo Agrícola Ganadero y forestal 2007 y fórmulas de por (Chen, 1983).). Valores de potencial de Metano y sólidos volátiles de (IPCC, 2006) y ecuaciones de (Hashimoto, 1984) y (Hashimoto, et al; 1981). Para estimar el Biogás se considera una concentración de metano de 60%.

El municipio más importante en relación al potencial de generación de biogás en la entidad es Atexcal con un 12.9%. Le sigue Chila con el 12.1%, Tepanco de López con el 10.3% y Atlixco con el 4.8% (ver figura 18).

Potencial de generación de biogás por tamaño de granja

En México en los últimos nueve años el empleo de biodigestores y motogeneradores ha cobrado gran importancia debido a la difusión por parte de la SAGARPA. Esta tecnología limpia ha sido implementada y se ha probado su eficiencia.

La generación de biogás está directamente relacionada al número de cerdos en la granja, sólidos volátiles, temperatura, tiempo de retención. Además del sistema de manejo de excretas adecuado (esto se da principalmente en granjas tecnificadas y semitecnificadas).

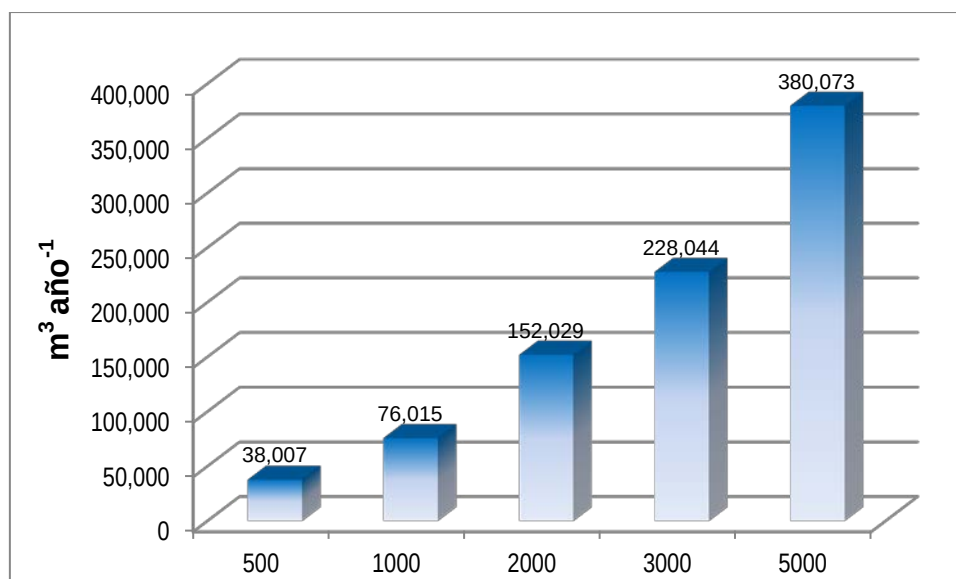


Figura 19. Potencial de producción de biogás para diferentes tamaños de granja (m³ año⁻¹)

Fuente: Elaboración propia con fórmulas de (Chen, 1983).). Valores de potencial de Metano y sólidos volátiles de (IPCC, 2006) y ecuaciones de (Hashimoto, 1984) y (Hashimoto, et al; 1981). Para estimar el Biogás se considera una concentración de metano de 60%.

La producción de biogás también dependerá del manejo de la granja y calidad de la materia orgánica. Entre más grande sea el tamaño de la granja, mayor será la producción de biogás. Las granjas con 5000 cerdos tienen un potencial de generar 380,073 m³ de biogás al año (ver figura 19).

5.6 Potencial de reducción de emisiones de CO₂e para Puebla

Uno de los principales aspectos del porque organismos internacionales y gobiernos locales están impulsando el empleo de energías limpias, se debe fundamentalmente el tratar de reducir emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera. Con el protocolo de Kyoto donde países industrializados se comprometieron a reducir sus emisiones en el período de 2008 a 2012 en 5.2% con respecto a lo que generaban en 1990. Se dio un repunte en proyectos derivados del protocolo con el conocido Mecanismo de Desarrollo Limpio. Para cumplir sus compromisos muchas empresas desarrolladoras de países del Anexo I, implementaron proyectos en países en vías de desarrollo. Muchos proyectos no prosperaron debido a que la intención de las empresas desarrolladoras sólo era cobrar los Bonos de carbono.

En la actualidad los Bonos de carbono no representan un incentivo debido a que su precio se desplomo después del 2012. Sin embargo el repunte del uso de energías renovables en los últimos años motiva a empresas de todos los sectores de la economía en emplear este tipo de sistemas por el ahorro en pago de energía y sobre todo por la reducción de la contaminación que representa la energía renovable como disminución en contaminación de agua, suelo y aire. Sobre todo en reducciones de los llamados gases de efecto invernadero.

El cuidado del medio ambiente es uno de los principales temas que ha cobrado relevancia en los últimos años. Con el empleo de energía renovable se pueden dejar de emitir importantes cantidades de gases de efecto invernadero. Con el empleo de biodigestores se estarían dejando de generar en Puebla un total de 721,327 Toneladas de CO₂e al año.

Potencial de reducción de emisiones de CO₂e para los principales municipios productores de cerdo en Puebla

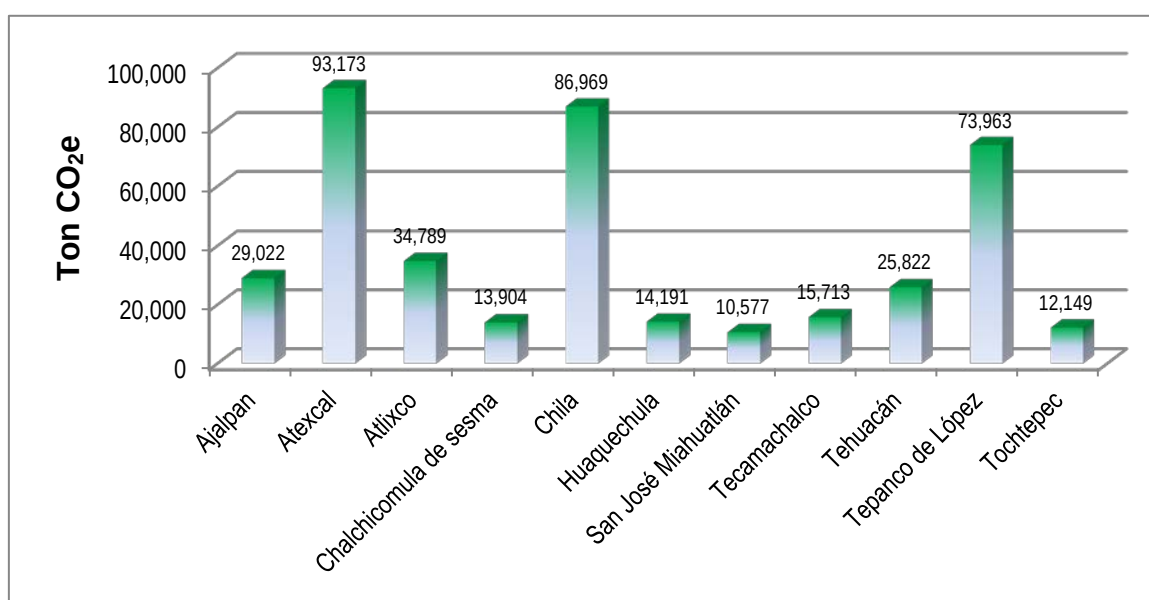


Figura 20. Reducción de emisiones para el Estado de Puebla (Ton CO₂e)

Fuente: Elaboración propia en base a la Metodología ACM0016. CMNUCC (2004). "Greenhouse gas mitigation from improved Animal Waste Management Systems in confined animal feeding operations".

Debido al gran daño que causa la quema de combustibles de origen fósil para la generación de energía. Con la entrada en vigor del protocolo de Kyoto en febrero de

2005, organismos internacionales y gobiernos locales han impulsado proyectos encaminados a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

El número de cerdos está directamente relacionado con la generación de biogás y consecuentemente la disminución de emisiones de CO₂e. Siendo el municipio de Atexcal el que tiene el mayor potencial de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (ver figura 20).

Potencial de reducción de CO₂e para diferentes tamaños de granja

Con el empleo de biodigestores y motogeneradores se quema metano el segundo gas de efecto invernadero con mayor concentración en la atmósfera. Esta tecnología está teniendo un efecto multiplicador debido a sus bondades energéticas y medioambientales.

Una granja de 500 cerdos puede reducir 479 toneladas de CO₂e al año, mientras que una de 3000 puede reducir 2,873 (ver figura 21).

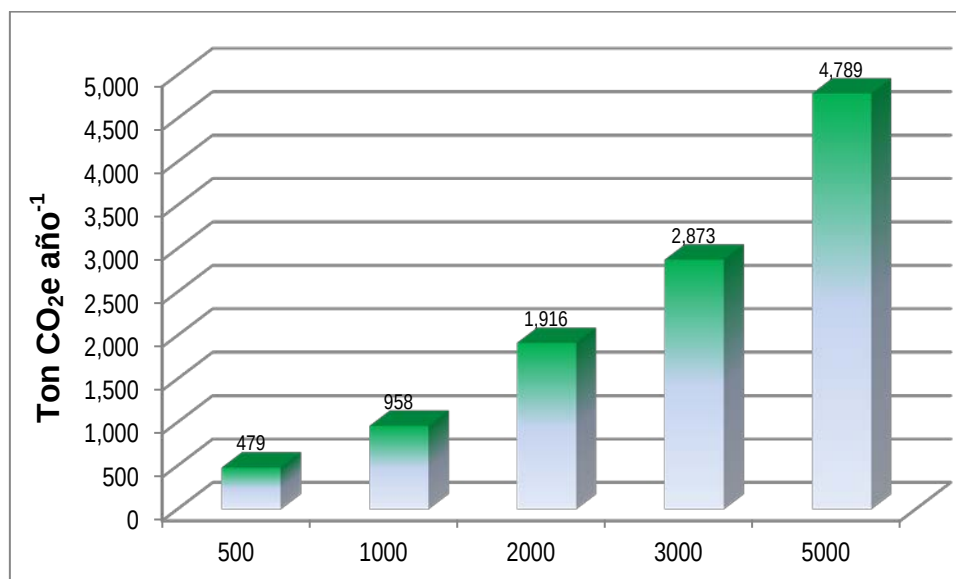


Figura 21. Potencial de reducción de CO₂e para diferentes tamaños de granja (Ton CO₂e año⁻¹).

Fuente: Elaboración propia en base a la metodología AM0016 ("Greenhouse gas mitigation from improved Animal Waste Management Systems in confined animal feeding operations") de (CMNUCC, 2004).

Esta tecnología más que proporcionar un beneficio económico, proporciona beneficio social y sobre todo medio ambiental. Si la mayoría de granjas adoptara

este tipo de tecnología la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en zonas productoras de cerdo representaría una reducción muy importante.

5.7 Potencial de generación de energía eléctrica para Puebla

La generación de biogás por medio de biodigestores y consecuentemente su empleo para generar electricidad en las granjas, permite eficiencia en costos de producción, de esta forma las granjas pueden permanecer en el mercado y ser más competitivas.

Debido a su poder calórico, el biogás tiene un gran potencial para generar energía eléctrica. Las estimaciones obtenidas en el presente estudio para Puebla representan un potencial de 48,464 MW de energía eléctrica al año.

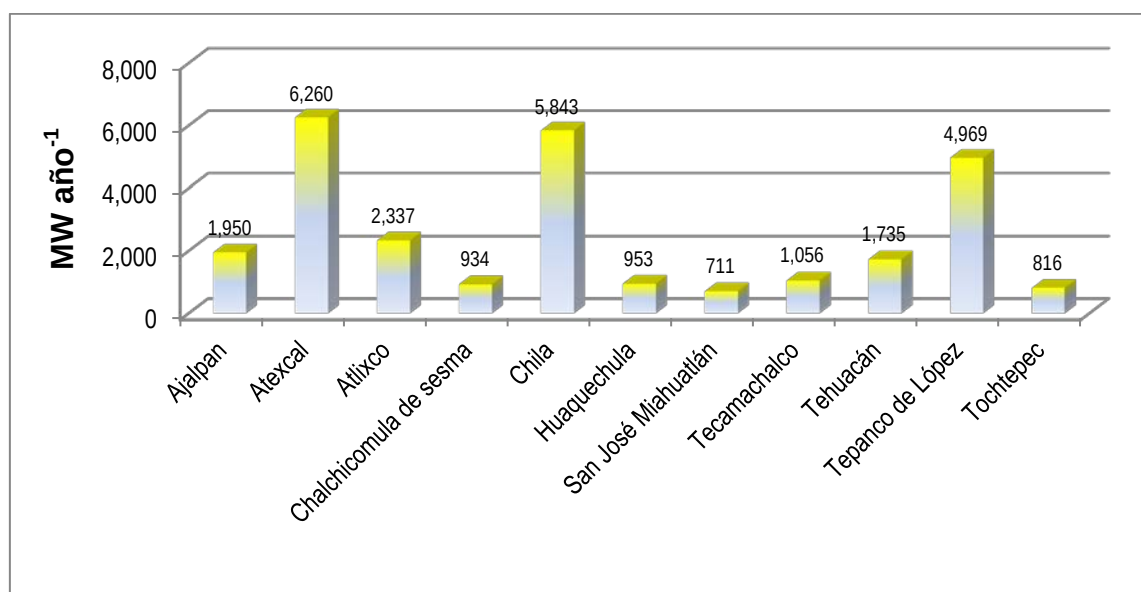


Figura 22. Potencial de generación de Energía Eléctrica en el Estado de Puebla (MW año⁻¹)

Fuente: Elaboración propia en base a la metodología de (EPA, 2006).

Los municipios con mayor potencial de generación de energía eléctrica son Atexcal, Chila y Tepanco de López, juntos tienen un potencial del 35.23% de energía eléctrica del total estatal (ver figura 22).

5.8 Análisis de factibilidad financiera para diferentes tamaños de granja

Uno de los principales inconvenientes en la implementación de energías renovables son sus costos. Pero hoy en día existen diversos programas gubernamentales que

apoyan con subsidios la implementación de energía renovable, de esta forma estas tecnologías son más accesibles y se pueden implementar en México.

El costo de biodigestores para la actividad porcícola varía de acuerdo al material tamaño y diseño. En el presente análisis se contemplan biodigestores tipo laguna y motogeneradores con capacidad de 10 kW, 30 kW y 60 kW. Además de granjas porcinas de 500, 1000, 2000, 3000 y 5000 cerdos.

Análisis financiero para granja de 500 cerdos

Cuadro 25. Análisis de rentabilidad para granja de 500 cerdos (Miles de pesos)

CONCEPTO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Egresos Totales	-700.0	-28.4	-28.4	-28.4	-28.4	-28.4	-28.4	-28.4	-28.4	-28.4	-28.4
Costo del biodigestor	-584.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Costo del motogenerador (Incluyecdo Instalación)	-116.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Gastos de Mantenimiento del biodigestor	0.0	-18.4	-18.4	-18.4	-18.4	-18.4	-18.4	-18.4	-18.4	-18.4	-18.4
Gastos de Mantenimiento del Motogenerador	0.0	-10.0	-10.0	-10.0	-10.0	-10.0	-10.0	-10.0	-10.0	-10.0	-10.0
Ingresos Totales	0.0	160.6	160.6	160.6	160.6	160.6	160.6	160.6	160.6	160.6	276.6
Ahorros Consumo de Energía	0.0	131.8	131.8	131.8	131.8	131.8	131.8	131.8	131.8	131.8	131.8
Valor residual del motogenerador	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	116.0
Biofertilizante		28.8	28.8	28.8	28.8	28.8	28.8	28.8	28.8	28.8	28.8
UTILIDAD	-700.0	132.2	132.2	132.2	132.2	132.2	132.2	132.2	132.2	132.2	248.1

Fuente: Elaboración propia con datos de diversos proveedores

Nota: tasa de actualización del 12%.

Para un tamaño de granja de 500 cerdos, el análisis financiero resultó con los siguientes indicadores:

VAN = \$ 75,122

TIR = 14.71%

B/C = 1.75

El criterio de selección es que el proyecto tenga una VAN mayor a cero, por lo que se puede aprobar. La TIR es mayor que la tasa de actualización por 2.71 puntos porcentuales. Si se recomienda invertir en este sistema biodigestor-motogenerador.

Desde luego si se aprueba el proyecto debido a que más allá del beneficio económico, está el beneficio social y medioambiental.

El criterio de la relación Beneficio-Costo nos indica que por cada peso invertido se recupera la inversión y se obtienen 75 centavos de utilidad.

Análisis financiero para granja de 1000 cerdos

Cuadro 26. Análisis de rentabilidad para granja de 1000 cerdos (Miles de pesos)

CONCEPTO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Egresos Totales	-1,274.8	-53.9	-53.9	-53.9	-53.9	-53.9	-53.9	-53.9	-53.9	-53.9	-53.9
Costo del biodigestor	-779.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Costo del motogenerador	-495.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Mantenimiento del biodigestor	0.0	-23.9	-23.9	-23.9	-23.9	-23.9	-23.9	-23.9	-23.9	-23.9	-23.9
Mantenimiento del Motogenerador	0.0	-30.0	-30.0	-30.0	-30.0	-30.0	-30.0	-30.0	-30.0	-30.0	-30.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ingresos Totales	0.0	378.8	378.8	378.8	378.8	378.8	378.8	378.8	378.8	378.8	720.8
Ahorros Consumo de Energía	0.0	321.2	321.2	321.2	321.2	321.2	321.2	321.2	321.2	321.2	321.2
Valor residual del motogenerador	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	342.0
Biofertilizante	0.0	57.6	57.6	57.6	57.6	57.6	57.6	57.6	57.6	57.6	57.6
Utilidad	-1,274.8	324.9	324.9	324.9	324.9	324.9	324.9	324.9	324.9	324.9	666.9

Fuente: Elaboración propia con datos de diversos proveedores

Nota: tasa de actualización del 12%.

Claramente se puede observar que entre mayor sea la granja, los indicadores de rentabilidad son mejores.

VAN = \$ 599,078

TIR = 23.06%

B/C = 2.28

Para este tamaño de granja los indicadores financieros son más atractivos. Se puede observar que en este escenario de tamaño de granja con 1000 cerdos supera a la tasa de actualización en 11.06 puntos porcentuales. Sin duda se recomienda invertir en este sistema. Además por cada peso invertido se recupera la inversión y se obtendrían 1.28 pesos de utilidad.

Análisis financiero para granja de 2000 cerdos

Cuadro 27. Análisis de rentabilidad para granja de 2000 cerdos (Miles de pesos)

CONCEPTO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Egresos Totales	-1,480.8	-61.1	-61.1	-61.1	-61.1	-61.1	-61.1	-61.1	-61.1	-61.1	-61.1
Costo del biodigestor	-985.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Costo del motogenerador	-495.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Mantenimiento del biodigestor	0.0	-31.1	-31.1	-31.1	-31.1	-31.1	-31.1	-31.1	-31.1	-31.1	-31.1
Mantenimiento del Motogenerador	0.0	-30.0	-30.0	-30.0	-30.0	-30.0	-30.0	-30.0	-30.0	-30.0	-30.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ingresos Totales	0.0	436.4	436.4	436.4	436.4	436.4	436.4	436.4	436.4	436.4	778.4
Ahorros Consumo de Energía	0.0	321.2	321.2	321.2	321.2	321.2	321.2	321.2	321.2	321.2	321.2
Valor residual del motogenerador	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	342.0
Biofertilizante	0.0	115.2	115.2	115.2	115.2	115.2	115.2	115.2	115.2	115.2	115.2
Utilidad	-1,480.8	375.4	375.4	375.4	375.4	375.4	375.4	375.4	375.4	375.4	717.3

Fuente: Elaboración propia con datos de diversos proveedores

Nota: tasa de actualización del 12%.

Para un tamaño de granja de 2000 cerdos se presentan los siguientes indicadores financieros:

VAN = \$ 669,766

TIR = 22.76%

B/C = 2.25

Para este tamaño de granja, los tres indicadores financieros analizados resultan favorables. De esta manera se sugiere a dueños de granjas que tengan aproximadamente este número de animales que pueden invertir en un sistema biodigestor-motogenerador.

Análisis financiero para granja de 3000 cerdos

Para un tamaño de granja de 3000 cerdos se presentan los siguientes indicadores financieros:

VAN = \$ 2,056,124

TIR = 35.48%

B/C = 3.07

Cuadro 28. Análisis de rentabilidad para granja de 3000 cerdos (Miles de pesos)

CONCEPTO	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
Egresos Totales	-1,989.3	-82.3	-82.3	-82.3	-82.3	-82.3	-82.3	-82.3	-82.3	-82.3	-82.3
Costo del biodigestor	-1,310.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Costo del motogenerador (Incluyecdo Instalación)	-679.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Gastos de Mantenimiento del biodigestor	0.0	-41.3	-41.3	-41.3	-41.3	-41.3	-41.3	-41.3	-41.3	-41.3	-41.3
Gastos de Mantenimiento del Motogenerador	0.0	-41.0	-41.0	-41.0	-41.0	-41.0	-41.0	-41.0	-41.0	-41.0	-41.0
Ingresos Totales	0.0	815.3	815.3	815.3	815.3	815.3	815.3	815.3	815.3	815.3	1,283.7
Ahorros Consumo de Energía	0.0	642.5	642.5	642.5	642.5	642.5	642.5	642.5	642.5	642.5	642.5
Valor residual del motogenerador	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	468.5
Biofertilizante	0.0	172.8	172.8	172.8	172.8	172.8	172.8	172.8	172.8	172.8	172.8
UTILIDAD	-1,989.3	732.9	732.9	732.9	732.9	732.9	732.9	732.9	732.9	732.9	1,201.4

Fuente: Elaboración propia con datos de diversos proveedores

Nota: tasa de actualización del 12%.

Para este tamaño de granja se presentaron indicadores financieros muy favorables, así que se recomienda a productores que cuenten con un tamaño de granja aproximado a este sistema invertir en tecnología renovable.

Análisis financiero para granja de 5000 cerdos

Finalmente para granjas de 5000 cerdos se presentan los siguientes indicadores financieros:

VAN = \$ 2,347,990

TIR = 35.67%

B/C = 3.08

Los indicadores financieros para granjas de 5000 cerdos son los más favorables. Se puede observar que entre más grande es el tamaño de granja, los indicadores financieros son más favorables.

Cuadro 29. Análisis de rentabilidad para granja de 5000 cerdos (Miles de pesos)

Concepto	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Egresos Totales	-2,264.3	-91.0	-91.0	-91.0	-91.0	-91.0	-91.0	-91.0	-91.0	-91.0	-91.0
Costo del biodigestor	-1,585.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Costo del motogenerador (Incluyendo Instalación)	-679.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Gastos de Mantenimiento del biodigestor	0.0	-50.0	-50.0	-50.0	-50.0	-50.0	-50.0	-50.0	-50.0	-50.0	-50.0
Gastos de Mantenimiento del Motogenerador	00.0	-41.0	-41.0	-41.0	-41.0	-41.0	-41.0	-41.0	-41.0	-41.0	-41.0
Ingresos Totales	0.0	930.5	930.5	930.5	930.5	930.5	930.5	930.5	930.5	930.5	1,398.9
Ahorros Consumo de Energía	0.0	642.5	642.5	642.5	642.5	642.5	642.5	642.5	642.5	642.5	642.5
Valor residual del motogenerador	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	468.5
Biofertilizante	0.0	288.0	288.0	288.0	288.0	288.0	288.0	288.0	288.0	288.0	288.0
Utilidad	-2,264.3	839.5	839.5	839.5	839.5	839.5	839.5	839.5	839.5	839.5	1,307.9

Fuente: Elaboración propia con datos de diversos proveedores

Más allá del beneficio económico, los sistemas de biodigestión proporcionan en la actualidad beneficios sociales, laborales y sobre todo medioambientales.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Debido a la concentración excesiva de gases de efecto invernadero por el uso indiscriminado de fuentes de origen fósil para generar energía. Las tecnologías limpias han tenido un crecimiento muy importante en los últimos años en relación a la generación de energía en el mundo.

México en los últimos años ha orientado diversos apoyos que favorecen el empleo de tecnología limpia en diversos sectores de la economía. El sector agropecuario es un sector muy receptivo que está aprovechando sistemas de biodigestión para la generación de energía para autoconsumo de las unidades de producción.

La SAGARPA a través de FIRCO promueve la implementación de biodigestores y motogeneradores en la actividad pecuaria lo que ha dado como resultado que las granjas porcinas logren reducir importantes costos en energía eléctrica. De esta manera las granjas son autosuficientes en energía eléctrica y son más competitivas.

Puebla en los últimos años ha tenido un repunte importante y actualmente es el tercer productor de carne de cerdo en México. Con los apoyos de FIRCO a partir del año 2008 en proyectos de biodigestores y motogeneradores. Las granjas beneficiadas han logrado inhibir malos olores, reducción de contaminación de agua, aire, suelo, flora y fauna nociva. Han logrado un ambiente laboral más sano en beneficio de sus trabajadores.

Los proyectos apoyados por el FIRCO contemplan granjas arriba de 5000 cerdos lo que permite que los beneficios en relación a biogás producido, generación de energía eléctrica y reducción de CO₂e sean de mayor relevancia.

Al analizar este tipo de energía limpia se demostró que el uso de biodigestores y motogeneradores contribuye al cuidado del medio ambiente al reducir emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera.

La generación de biogás dependerá del manejo de la granja, calidad de materia orgánica, sólidos volátiles, temperatura y tiempo de retención como los factores más importantes. Además del número de cabezas con que cuente la granja.

Los municipios con mayor potencial de generación de biogás, reducción de CO₂e y potencial de generación de energía eléctrica son Atexcal, Chila y Tepanco de López.

Los cinco tamaños de granja analizados en esta investigación presentan indicadores financieros favorables por lo que se recomienda implementar estos sistemas de energía renovable.

La gran mayoría de granjas porcinas en México son pequeñas por lo que requieren de sistemas de menor tamaño. Se recomienda que los organismos públicos y privados orienten sus apoyos para este tipo de unidades de producción porque hay un enorme potencial de producción de biogás, energía eléctrica y reducción de emisiones de GEI.

Uno de los problemas que han tenido los proveedores de sistemas de biodigestión es que los productores señalan que los sistemas son caros. Este tipo de análisis permite observar que los sistemas son eficientes y que los productores recuperan rápidamente su inversión. Si se consideran todos los beneficios que proporcionan este tipo de tecnologías limpias, el beneficio es mayor en varios sentidos.

Uno de los beneficios que no ha sido tomado muy en cuenta por las granjas que cuentan con sistemas de biodigestión es la producción de biofertilizante. Si todas las granjas que cuentan con estos sistemas comercializaran su biofertilizante, tendrían importantes ingresos.

El empleo de biodigestores en granjas porcinas es rentable en términos económicos, sociales y medioambientales.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar-Virgen, Q., Taboada-González, P.A., & Ojeda-Benítez, S. (2011). Modelo mexicano para la estimación de la generación de biogás. *Ingeniería Revista Académica*, 15(1), 37-45.
- Baca. U. G. (2001). *Evaluación de Proyectos* (4ª ed). México: Mc. Graw Hill.
- Blanco, S. F. (2004). Aumento de la demanda de empleo de energías renovables. *Revista Galeana de Economía*, 13(1-2), 1-11.
- Burniaux, J. M., Chateau, J., Duval, R., & Jamet, S. (2008), "The Economics of Climate Change Mitigation: Policies and Options for the Future", OECD Economics Department Working Papers, No. 658. Paris: OECD Publishing. <http://dx.doi.org/10.1787/228868001868>.
- Casas Prieto, M. A., Rivas Lucero, B. A., Soto Zapata, M., Segovia Lerma, A., Morales Morales, H.A., Cuevas González, M. I., Keissling Davison, C. M. (2009). Estudio de factibilidad para la puesta en marcha de los digestores anaeróbicos en establos lecheros en la cuenca de Delicias, Chihuahua. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 13(24), 745-756.
- Chará J.D. y G.X. Pedraza (2002). Instalación y mantenimiento de biodigestores plásticos. En: Chará, J.D. (ed.). *Biodigestores plásticos de flujo continuo, investigación y transferencia en países tropicales*. CIPAV, Cali, Colombia. 277 p.
- Contois, D. E. (1959). Kinetics of microbial growth: Relationship between population density and specific growth rate of continuous culture. *Journal of General Microbiology*, 21(1), 40–54.
- Deublein, D., & Steinhauser, A. (2008). *Biogas from waste and renewable resources*. Germany: Litges & Dopf GmbH, Heppenheim.
- Diario Oficial de la Federación. (2008). *Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética*. Cámara de Diputados, del H. Congreso de la Unión. (28 de noviembre de 2008).
- Diario Oficial de la Federación. (2013). *ACUERDO por el que se dan a conocer las Reglas de Operación del Programa de Fomento a la Agricultura de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación*. (18 de diciembre de 2013).

- Espejo, M. C. (2004). Energía Eólica en España. *Investigaciones Geográficas*, 35, pp. 45-55.
- Estrada, G. C. A. (2013). Transición energética, energías renovables y energía solar de potencia. *Revista Mexicana de Física*, 59(2), 75-84. Obtenido de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57030971010>.
- Flores, R. B., y González, S. F. (2009). *La competitividad de las PYMES Morelianas*. Morelia, Michoacán: CIMBAGE
- Foley, J. (2010). Salvar la tierra: Límites de un Planeta Sano. *Investigación y Ciencia*, 45, 26-49.
- FIRCO-SAGARPA. (2007). Energía viva en producción: Aprovechamiento de biogás para la generación de energía eléctrica en el sector agropecuario. *Claridades Agropecuarias*, 168, 3–40.
- FIRCO-SAGARPA. (2009). *Diagnóstico General de la Situación Actual de los Sistemas de Biodigestión en México*. <http://ecotec.cieco.unam.mx/Ecotec/wp-content/uploads/Diagnostico-Nacional-de-los-Sistemas-de-Biodigestion.pdf>
- FIRCO-SAGARPA (2013). *Especificaciones Técnicas para biodigestores pequeños tipo laguna*. México: SAGARPA
- Fromlet, H. (2001). Behavioral finance-theory and practical application. *Business Economics*, 36(3), 63-69.
- García, R. (1995). *Metodología para Elaborar Perfiles de Competitividad del Sector Agroalimentario*. Documento de Trabajo. IICA. Proyecto Multinacional. Apoyo al Comercio y a la Integración en el Área Andina. Caracas, Venezuela.
- Garduño, R. (2004). ¿Qué es el efecto invernadero? In Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (Ed), *Cambio climático: una visión desde México* (1ª ed., pp 29-39). México, D.F: Instituto Nacional de Ecología.
- Gittinger, J. P. (1983). *Análisis económico de proyectos agrícolas*. Madrid, España: Editorial tecnos S.A.
- Greenpeace (2011). Potencial de las energías renovables en México: Situación actual. *Derecho Ambiental y Ecología*. Febrero-Marzo, 52-55.
- Gropelli, E.; Giampaoli, O. (2001). *El camino de la biodigestión*. Santa Fe: Editorial UNL.

- Haime, L. L. (1995). *Planeación Financiera de la Empresa Moderna*. México: ISEF, S.A.
- Hardy, R., Wright, P., Gribbin, J. y Kington, J. (1986). *El Libro del Clima*. Vol. III. Barcelona: Ediciones Orbis, S.A.
- Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial (ICAITI). (1983a). *Manual de Construcción y Operación Planta de Biogás. Proyecto de Leña y Fuentes Alternas de Energía*. El Salvador: ICAITI.
- Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial (ICAITI). (1983b). *Biogas: Information general*. Guatemala: ICAITI.
- IEA statistics. (2012). *CO₂ Emissions from fuel combustion highlights*. 2012 edition.
- INE-SEMARNAT. (2009). *México cuarta comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático* (1ª ed.). México.
- (IPCC). (2001). *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Technical Summary*. Cambridge: WMO-UNEP Cambridge University Press.
- IPCC. (2002). *Cambio climático y biodiversidad*. Documento técnico V del IPCC.
- IPCC. (2006). *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme*, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T., and Tanabe K. (eds). Japón: IGES.
- IPCC (2007). *Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Ginebra, Suiza: IPCC.
- IPCC. (2013). "Resumen para responsables de políticas. En: *Cambio Climático 2013: Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*" [Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América.

- Lombana, J., Rozas, G. S. (2009). Marco Analítico de la competitividad. Fundamentos para el estudio de la competitividad regional. *Pensamiento & Gestión*, 26, 1-38.
- López-Salazar, A. (2010). La proactividad empresarial como elemento de competitividad. *Ra Ximhai*, 6(2), 303-321.
- Magaña, R. V. O. (2004). El cambio climático global: comprender el problema. In Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (Ed), *Cambio climático: una visión desde México* (1ª ed., pp 17-27). México, D.F: Instituto Nacional de Ecología.
- Magaña, R. J. L., Torres, R. E., Martínez, G. M. T., Sandoval, J. C., & Hernández Cantero, R. (2006). Producción de Biogás a nivel laboratorio utilizando estiércol de cabra. *Acta Universitaria*, 16(2), 27-37.
- Mantilla, G. J. M., Duque, D. C.A., & Galeano U. C. H. (2007). Diseño y estudio económico preliminar de una planta productora de biogás utilizando residuos orgánicos de ganado vacuno. *Ingeniería e Investigación*, 27(3), 133-142.
- Martí, H. J. (2008). *Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación*. La Paz, Bolivia: GTZ-Energía.
- Martínez, H. R., & Perozo, B. J. (2010). Sistema de información gerencial para la optimización de portafolios de inversión. *Revista Venezolana de Gerencia*, 15(50), 253-272.
- Mata, S. J., Romero-Hernández, O. (2011). Bioenergía, Parte I: Biomasa y biogás. In Romero, H. O., Romero, H. S., Wood, D. (Eds.), *Energías Renovables: Impulso político y tecnológico para México sustentable* (pp. 126-158). México, D.F.: e:de, businessbydesign.
- Nazetón, C., y Tito, G. (2001). *Medio ambiente y pequeños productores: Conceptos básicos*. Buenos Aires: PROINDER.
- OIEA, Departamento de asuntos económicos y sociales de las Naciones Unidas, Agencia Internacional de la Energía, Eurostat, y Agencia Europea del Medio Ambiente (2008). *Indicadores Energéticos del desarrollo sostenible: Directrices y metodologías*. OIEA (Ed.) Austria.

- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (1992). *Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático*. Nueva York. Estados Unidos de América. ONU
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (1998). *Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático*. Kyoto, Japón. ONU
- Osorio, S. J. A., Ciro, V. H. J., y González, S. H. (2007). Evaluación de un sistema de biodigestión en serie para clima frío. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 60(2), 4145-4162.
- Piedrahita, D. (2000). *Elementos para una tecnología sobre producción de biogás*. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- PNUMA-SEMARNAT. (2006). *El Cambio Climático en América Latina y el Caribe*. México. PNUMA.
- Posso, F. (2002). Energía y Ambiente: Pasado, presente y futuro. Parte dos: Sistema energético basado en energías alternativas. *Geoenseñanza*, 7(1-2), 54-73.
- Robilliard, C. C. (2009). Generación de electricidad a partir de energía geotérmica. *Ingeniería Industrial*, 27, 185-205.
- Quiroz Cuenca, Sara (2003). Competitividad e inversión extranjera directa en México. *Análisis Económico*, 18(37), 241-256
- Secretaría de Energía (SENER). (2006). *Energías Renovables para el desarrollo sustentable en México*. México: SENER-GTZ
- Secretaría de Energía (SENER). (2009). *Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México*. México, D.F: ForeverPrint S.A. de C.V.
- Secretaría de Energía (SENER). (2012). *Prospectivas de Energías Renovables 2012-2016*. México: SENER-GIZ.
- SEMARNAT. (2012). Informe de Rendición de Cuentas de la Administración Pública Federal 2006-2012. México.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) e Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). (2012). *México Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (1ª ED.)*. México: Grupo Comunicare, S.C.

- Sheinbaum, P. C. (2000). *Metodología para la elaboración del inventario de gases de efecto invernadero asociado al consumo de energía en México*. México, D.F.: UNAM.
- Torres, H. A. (2000). Mercado y los Agronegocios: Situación y perspectivas del gerenciamiento de las agroempresas. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 6(8), 44-58.
- UNFCCC/CCNUCC (2004). *Greenhouse Gas Mitigation From Improved Animal Waste Management Systems in Confined Animal Feeding Operations. Approved baseline methodology AM0016 Version 01*, United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), pp. 28. Available at: http://cdm.unfccc.int/UserManagement/FileStorage/CDMWF_AM_TJEACO7V_PUASFJUDZ4WPXHTYQPASQ3
- Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). (2003). *Guía de implementación de sistemas de biogás*. Bogotá, D.C. Colombia: ICONTEC-AENE.
- United States Agency (USAID). (2009). *Producción Limpia y Energía Renovable*. Washington, DC: USAID
- Varnero, M. M. T. (2011). *Manual de Biogás*. Santiago, Chile: FAO
- Yáñez-Arancibia, A., Day, J. W., y Hall, C. A. S. (2010). Energía, economía y cambio climático: Ecuación insoluble. *Investigación Ambiental*, 2(1), 75-82.

Fuentes electrónicas:

- Environmental protection Agency (2006), "agSTAR Digest", Washington, D.C. (Consultado 20-1-2012). www.epa.gov/agstar.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Censo Agrícola Ganadero y Forestal 2007. (Consultado 15-10-2014). http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/agro/ca2007/resultados_agricola/default.aspx.
- Secretaría de Energía. Sistema de Información energética (SIE). (Consultado 20-10-2014). <http://sie.energia.gob.mx>.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Consultado (2-2-2012). <http://www.siap.gob.mx/>.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).
Consultado (10-9-2014).

<http://faostat.fao.org/DesktopDefault.aspx?PageID=291&lang=es>.

U.S Energy Information Administration (EIA). (2011). International Energy Outlook 2011. Washington, Estados Unidos de América. Consultado (20-6-2013).
[www.eia.gov/ieo/pdf/0484\(2011\).pdf](http://www.eia.gov/ieo/pdf/0484(2011).pdf).

US. Energy Information Administration (EIA). (2014). Consultado (17-09-2014).
<http://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/IEDIndex3.cfm?tid=90&pid=44&aid=8>.

ANEXOS

Anexo 1.

Anexo I de la CMNUCC

Alemania

Australia

Austria

Belarús^a

Bélgica

Bulgaria^a

Canadá

Croacia^{a*}

Comunidad Económica Europea

Dinamarca

Eslovaquia^{a*}

Eslovenia^{a*}

España

Estados Unidos de América

Estonia^a

Federación de Rusia^a

Finlandia

Francia

Grecia

Hungría^a

Irlanda

Islandia

Italia

Japón
Letonia ^a
Lituania ^a
Liechtenstein*
Luxemburgo
Mónaco*
Noruega
Nueva Zelandia
Países Bajos
Polonia ^a
Portugal
Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte
República checa ^{a*}
Rumania ^a
Suecia
Suiza
Turquía
Ucrania ^a

^a Países que están en proceso de transición a una economía de mercado.

* Nota editorial: Países incorporados en el anexo I mediante una enmienda que entró en vigor el 13 de agosto de 1998 de conformidad con la decisión 4/CP.3, adoptada por la CP en su tercer período de sesiones.

Anexo 2.
Anexo A del Protocolo de Kyoto
Gases de efecto invernadero

Dióxido de carbono
(CO₂)
Metano (CH₄)
Óxido nitroso (N₂O)
Hidrofluorocarbonos (HFC)
Perfluorocarbonos
(PFC)
Hexafluoruro de azufre (SF₆)

**Sectores/categorías de
fuentes**

Energía

Quema de combustible

Industrias de energía
Industria manufacturera y construcción
Transporte
Otros sectores
Otros

Emisiones fugitivas de combustibles

Combustibles sólidos
Petróleo y gas natural
Otros

Procesos industriales

Productos minerales
Industria química
Producción de metales
Otra producción
Producción de halocarbonos y hexafluoruro de
azufre
Consumo de halocarbonos y hexafluoruro de
azufre
Otros

Utilización de disolventes y otros productos

Agricultura

Desechos

Eliminación de desechos sólidos en la tierra

Tratamiento de las aguas

residuales

Incineración de

desechos

Otros

Anexo 3.
Anexo B del Protocolo de Kyoto

Parte	Compromiso cuantificado de limitación o reducción de las emisiones (% del nivel del año o período de base)
Alemania	92
Australia	108
Austria	92
Bélgica	92
Bulgaria*	92
Canadá	94
Comunidad Europea	92
Croacia*	95
Dinamarca	92
Eslovaquia*	92
Eslovenia*	92
España	92
Estados Unidos de América	93
Estonia*	92
Federación de Rusia*	100
Finlandia	92
Francia	92
Grecia	92
Hungría*	94
Irlanda	92
Islandia	110
Italia	92
Japón	94
Letonia*	92

Liechtenstein	92
Lituania*	92
Luxemburgo	92
Mónaco	92
Noruega	101
Nueva Zelandia	100
Países Bajos	92
Polonia*	94
Portugal	92
Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte	92
República Checa*	92
Rumania*	92
Suecia	92
Suiza	92
Ucrania*	100

* Países que están en proceso de transición a una economía de mercado.

Anexo 4.

Ley para el aprovechamiento de energías renovables y el financiamiento de la transición energética.

“EL CONGRESO GENERAL DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS, D E C R E T A²³:

SE EXPIDE LA LEY PARA EL APROVECHAMIENTO DE ENERGÍAS RENOVABLES Y EL FINANCIAMIENTO DE LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA

ARTÍCULO ÚNICO. Se expide la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética, para quedar como sigue:

LEY PARA EL APROVECHAMIENTO DE ENERGÍAS RENOVABLES Y EL FINANCIAMIENTO DE LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA

Capítulo I.- Disposiciones Generales

Artículo 1o.- La presente Ley es de orden público y de observancia general en toda la República Mexicana. Tiene por objeto regular el aprovechamiento de fuentes de energía renovables y las tecnologías limpias para generar electricidad con fines distintos a la prestación del servicio público de energía eléctrica, así como establecer la estrategia nacional y los instrumentos para el financiamiento de la transición energética.

Se excluye del objeto de la presente Ley, la regulación de las siguientes fuentes para generar electricidad:

- I.** Minerales radioactivos para generar energía nuclear;
- II.** Energía hidráulica de fuentes con capacidad de generar más de 30 megawatts;
- III.** Residuos industriales o de cualquier tipo cuando sean incinerados o reciban algún otro tipo de tratamiento térmico, y
- IV.** Aprovechamiento de rellenos sanitarios que no cumplan con la normatividad ambiental.

Artículo 2o.- El aprovechamiento de las fuentes de energía renovable y el uso de tecnologías limpias es de utilidad pública y se realizará en el marco de la estrategia nacional para la transición energética mediante la cual el Estado mexicano promoverá la eficiencia y sustentabilidad energética, así como la reducción de la dependencia de los hidrocarburos como fuente primaria de energía.

El Reglamento de esta Ley establecerá los criterios específicos de utilización de las distintas fuentes de energías renovables, así como la promoción para la investigación y desarrollo de las tecnologías limpias para su aprovechamiento.

Artículo 3o.- Para los efectos de esta Ley se entenderá por:

- I. Comisión.-** La Comisión Reguladora de Energía;
- II. Energías renovables.-** Aquellas reguladas por esta Ley, cuya fuente reside en fenómenos de la naturaleza, procesos o materiales susceptibles de ser transformados en energía aprovechable por la humanidad, que se regeneran naturalmente, por lo que se encuentran disponibles de forma continua o periódica, y que se enumeran a continuación:
 - a)** El viento;
 - b)** La radiación solar, en todas sus formas;
 - c)** El movimiento del agua en cauces naturales o artificiales;

²³DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN. Viernes 28 de noviembre de 2008

Viernes 28 de noviembre de 2008 DIARIO OFICIAL (Primera Sección) 89

d) La energía oceánica en sus distintas formas, a saber: maremotriz, maremotérmica, de las olas, de las corrientes marinas y del gradiente de concentración de sal;

e) El calor de los yacimientos geotérmicos;

f) Los bioenergéticos, que determine la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos, y

g) Aquellas otras que, en su caso, determine la Secretaría, cuya fuente cumpla con el primer párrafo de esta fracción;

III. Externalidades.- Los impactos positivos o negativos que genera la provisión de un bien o servicio y que afectan a una tercera persona. Las externalidades ocurren cuando los costos o beneficios de los productores o compradores de un bien o servicio son diferentes de los costos o beneficios sociales totales que involucran su producción y consumo;

IV. Estrategia.- La Estrategia Nacional para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía;

V. Generador.- Persona física de nacionalidad mexicana o persona moral constituida conforme a las leyes mexicanas y con domicilio en el territorio nacional, que genere electricidad a partir de energías renovables;

VI. Ley.- La Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética;

VII. Programa.- El Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables;

VIII. Secretaría.- La Secretaría de Energía, y

IX. Suministrador.- Aquel que establece la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica.

Artículo 4o.- El aprovechamiento de los cuerpos de agua, los bioenergéticos, el viento y los recursos geotérmicos, así como la explotación de minerales asociados a los yacimientos geotérmicos, para la producción de energía eléctrica, se sujetará y llevará a cabo de conformidad con las disposiciones jurídicas aplicables en la materia.

Capítulo II.- De la Autoridad

Artículo 5o.- El Ejecutivo Federal, por conducto de la Secretaría, ejercerá las atribuciones conferidas por esta Ley.

Artículo 6o.- Corresponde a la Secretaría:

I. Elaborar y coordinar la ejecución del Programa;

II. Coordinar el Consejo Consultivo para las Energías Renovables, cuyo objetivo será conocer las opiniones de los diversos sectores vinculados a la materia. El Reglamento de esta Ley establecerá los términos en los que se constituirá y operará dicho Consejo;

III. En coordinación con la Secretaría de Economía, definir las políticas y medidas para fomentar una mayor integración nacional de equipos y componentes para el aprovechamiento de las energías renovables y su transformación eficiente;

IV. Observar los compromisos internacionales adquiridos por México en materia de aprovechamiento de las energías renovables y cambio climático, cuyo cumplimiento esté relacionado con esta Ley;

V. Observar lo establecido en los programas nacionales en materia de mitigación del cambio climático;

VI. Establecer y actualizar el Inventario Nacional de las Energías Renovables, con programas a corto plazo y planes y perspectivas a mediano y largo plazo comprendidas en el Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables y en la Estrategia Nacional para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía, y

VII. Las demás que en esta materia le otorguen esta Ley u otros ordenamientos.

Artículo 7o.- Sin perjuicio de las que su propia ley le otorga, la Comisión Reguladora de Energía tendrá las atribuciones siguientes:

I. Expedir las normas, directivas, metodologías y demás disposiciones de carácter administrativo que regulen la generación de electricidad a partir de energías renovables, de conformidad con lo establecido en esta Ley, atendiendo a la política energética establecida por la Secretaría;

II. Establecer, previa opinión de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público y la Secretaría de Energía, los instrumentos de regulación para el cálculo de las contraprestaciones por los servicios que se presten entre sí los Suministradores y los Generadores;

III. Solicitar al Suministrador la revisión y, en su caso, la modificación de las reglas de despacho, para dar cumplimiento a las disposiciones de esta Ley;

IV. Solicitar al Centro Nacional de Control de Energía la adecuación de las reglas de despacho para garantizar el cumplimiento de la Ley;

V. Expedir las metodologías para determinar la aportación de capacidad de generación de las tecnologías de energías renovables al Sistema Eléctrico Nacional. Para la elaboración de dichas metodologías considerará la información proporcionada por los Suministradores, las investigaciones realizadas por institutos especializados, las mejores prácticas de la industria y demás evidencia nacional e internacional;

VI. Expedir las reglas generales de interconexión al Sistema Eléctrico Nacional que le deberán proponerlos Suministradores, escuchando la opinión de los Generadores, y

VII. Expedir los procedimientos de intercambio de energía y los sistemas correspondientes de compensaciones, para todos los proyectos y sistemas de autoabastecimiento, cogeneración o pequeña producción por energías renovables, que estén conectados con las redes del Sistema Eléctrico Nacional.

Artículo 8o.- El Ejecutivo Federal, por conducto de la Secretaría de Energía podrá suscribir convenios y acuerdos de coordinación con los gobiernos del Distrito Federal o de los Estados, con la participación en su caso de los Municipios, con el objeto de que, en el ámbito de sus respectivas competencias:

I. Establezcan bases de participación para instrumentar las disposiciones que emita el Ejecutivo Federal de conformidad con la presente Ley;

II. Promuevan acciones de apoyo al desarrollo industrial para el aprovechamiento de las energías renovables;

III. Faciliten el acceso a aquellas zonas con un alto potencial de fuentes de energías renovables para su aprovechamiento y promuevan la compatibilidad de los usos de suelo para tales fines;

IV. Establezcan regulaciones de uso del suelo y de construcciones, que tomen en cuenta los intereses de los propietarios o poseedores de terrenos para el aprovechamiento de las energías renovables, y

V. Simplifiquen los procedimientos administrativos para la obtención de permisos y licencias para los proyectos de aprovechamiento de energías renovables.

Artículo 9o.- La Secretaría de Economía, en coordinación con la Secretaría de Energía, definirá las políticas y medidas para fomentar una mayor integración nacional de equipos y componentes para el aprovechamiento de las energías renovables y su transformación eficiente.

Artículo 10.- La Secretaría de Energía, con la opinión de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público, de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y de la Secretaría de Salud, elaborará una metodología para valorar las externalidades asociadas con la generación de electricidad, basada en energías renovables, en sus distintas escalas, así como las acciones de política a que se refiere esta Ley, relacionadas con dichas externalidades. A partir de esa metodología y acciones de política, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales diseñará mecanismos de regulación ambiental para el aprovechamiento de energías renovables.

Capítulo III.- De la Planeación y la Regulación

Artículo 11.- La Secretaría de Energía elaborará y coordinará la ejecución del Programa, para lo cual deberá:

I. Promover la participación social durante la planeación, aplicación y evaluación del Programa, de conformidad con lo establecido por la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos y los demás ordenamientos aplicables;

II. Establecer objetivos y metas específicas para el aprovechamiento de energías renovables, así como definir las estrategias y acciones necesarias para alcanzarlas;

III. Establecer metas de participación de las energías renovables en la generación de electricidad, las cuales tenderán a aumentar sobre bases de viabilidad económica. Dichas metas se expresarán en términos de porcentajes mínimos de capacidad instalada y porcentajes mínimos de suministro eléctrico, e incluirán metas para los Suministradores y los Generadores;

IV. Incluir la construcción de las obras de infraestructura eléctrica necesarias para que los proyectos de energías renovables se puedan interconectar con el Sistema Eléctrico Nacional;

V. Incluir en las metas la mayor diversidad posible de energías renovables, tomando en cuenta su disponibilidad en las distintas regiones del país y los ciclos naturales de dichas fuentes, con el fin de aumentar su aportación de capacidad al Sistema Eléctrico Nacional;

VI. Asegurar la congruencia entre el Programa y los otros instrumentos de planeación del sector energía;

VII. Definir estrategias para fomentar aquellos proyectos que a partir de fuentes renovables de energía provean energía eléctrica a comunidades rurales que no cuenten con este servicio, estén o no aislados de las redes eléctricas, y

VIII. Definir estrategias para promover la realización de proyectos de generación de electricidad a partir de energías renovables preferentemente para los propietarios o poseedores de los terrenos y los sujetos de derechos sobre los recursos naturales involucrados en dichos proyectos.

El Programa será de observancia obligatoria para las Entidades y Dependencias de la Administración Pública Federal, en el ámbito de sus respectivas competencias, y deberá ser difundido al público.

Artículo 12.- En la elaboración del Programa, la Secretaría considerará los beneficios económicos netos potenciales de generarse por el aprovechamiento de las energías renovables.

Artículo 13.- La Secretaría de Energía considerará los beneficios a que se refiere el artículo 12 de la presente Ley, en la evaluación económica de los proyectos de aprovechamiento de energías renovables que realicen los Suministradores.

Artículo 14.- La Comisión, previa opinión de las Secretarías de Hacienda y Crédito Público y de Energía, determinará las contraprestaciones máximas que pagarán los Suministradores a los Generadores que utilicen energías renovables. Dichas contraprestaciones deberán incluir pagos por los costos derivados de la capacidad de generación y por la generación de energía asociada al proyecto.

Las contraprestaciones podrán depender de la tecnología y de la ubicación geográfica de los proyectos.

Artículo 15.- La Comisión expedirá las directrices a que se sujetarán los modelos de contrato entre los Suministradores y los Generadores que utilicen energías renovables.

Artículo 16.- Los Suministradores deberán celebrar contratos de largo plazo con los Generadores que utilizan energías renovables que cuenten con un permiso de la Comisión, conforme a las directrices que expida la misma Comisión.

Artículo 17.- En el caso de venta de la energía que sobra racionalmente después del autoconsumo de la producción, de conformidad con lo establecido en la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica de proyectos de autoabastecimiento con energías renovables o de cogeneración de electricidad, las contraprestaciones se fijarán de acuerdo con la metodología que a tal efecto apruebe la Comisión.

Artículo 18.- El Sistema Eléctrico Nacional recibirá la electricidad producida con energías renovables excedentes de proyectos de autoabastecimiento o por proyectos de cogeneración de electricidad, de conformidad con lo establecido en el artículo 36 bis de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica y conforme a lo señalado en el presente ordenamiento.

Los Generadores se sujetarán a las condiciones que establezca la Comisión para los servicios de conducción, transformación y entrega de energía eléctrica, de conformidad con lo dispuesto por la Ley de la Comisión Reguladora de Energía.

Artículo 19.- Los Suministradores recibirán los excedentes razonables de conformidad con las condiciones de operación y de economía del sistema eléctrico, así como de distribución geográfica y de variabilidad en el tiempo de las distintas tecnologías para el aprovechamiento de las energías renovables.

Artículo 20.- Las atribuciones de la Comisión, referidas en el artículo 7o. de la presente Ley, se aplicarán a los sistemas de cogeneración de electricidad aunque no utilicen energías renovables, de acuerdo con las definiciones establecidas en el artículo 36, fracción II, de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica, siempre y cuando dichos sistemas cumplan con el criterio de eficiencia que establezca la propia Comisión.

Artículo 21.- Los proyectos de generación de electricidad a partir de energías renovables con una capacidad mayor de 2.5 Megawatts, procurarán:

I. Asegurar la participación de las comunidades locales y regionales, mediante reuniones y consultas públicas convocadas por las autoridades municipales, ejidales o comunales; en dichas reuniones deberán convenir la participación de los proyectos en el desarrollo social de la comunidad;

II. Según se convenga en el contrato respectivo, pagar el arrendamiento a los propietarios de los predios o terrenos ocupados por el proyecto de energía renovable; la periodicidad de los pagos podrá ser convenida con los interesados, pero en ningún caso será inferior a dos veces por año;

III. Promover el desarrollo social en la comunidad, en la que se ejecuten los proyectos de generación con energías renovables, conforme a las mejores prácticas internacionales y atender a la normatividad aplicable en materia de desarrollo rural sustentable, protección del medio ambiente y derechos agrarios.

Capítulo IV.- De la Estrategia Nacional para la Transición

Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía

Artículo 22.- Se establece la Estrategia como el mecanismo mediante el cual el Estado Mexicano impulsará las políticas, programas, acciones y proyectos encaminados a conseguir una mayor utilización y aprovechamiento de las fuentes de energía renovables y las tecnologías limpias, promover la eficiencia y sustentabilidad energética, así como la reducción de la dependencia de México de los hidrocarburos como fuente primaria de energía.

Artículo 23.- La Estrategia, encabezada por la Secretaría, tendrá como objetivo primordial promover la utilización, el desarrollo y la inversión en las energías renovables a que se refiere esta Ley y la eficiencia energética.

Artículo 24.- Con el fin de ejercer con eficiencia los recursos del sector público, evitando su dispersión, la Estrategia comprenderá los mecanismos presupuestarios para asegurar la congruencia y consistencia de las acciones destinadas a promover el aprovechamiento de las tecnologías limpias y energías renovables mencionadas en el artículo anterior, así como el ahorro y el uso óptimo de toda clase de energía en todos los procesos y actividades, desde su explotación hasta su consumo.

La Estrategia, en términos de las disposiciones aplicables, consolidará en el Presupuesto de Egresos de la Federación las provisiones de recursos del sector público tendientes a:

I. Promover e incentivar el uso y la aplicación de tecnologías para el aprovechamiento de las energías renovables, la eficiencia y el ahorro de energía;

II. Promover y difundir el uso y la aplicación de tecnologías limpias en todas las actividades productivas y en el uso doméstico;

III. Promover la diversificación de fuentes primarias de energía, incrementando la oferta de las fuentes de energía renovable;

IV. Establecer un programa de normalización para la eficiencia energética;

V. Promover y difundir medidas para la eficiencia energética, así como el ahorro de energía, y

VI. Proponer las medidas necesarias para que la población tenga acceso a información confiable, oportuna y de fácil consulta en relación con el consumo energético de los equipos, aparatos y vehículos que requieren del suministro de energía para su funcionamiento.

Artículo 25.- El Ejecutivo Federal, al enviar a la Cámara de Diputados el proyecto de Decreto de Presupuesto de Egresos de la Federación para el Ejercicio Fiscal que

corresponda, consolidará los recursos del sector público que proponga establecer dentro de la Estrategia.

El monto mínimo de recursos a ser programado para los subsecuentes ejercicios fiscales será actualizado cada tres años, considerando entre otros, el crecimiento real de la economía y el crecimiento real del gasto programable del sector público, de conformidad con las disposiciones que se establezcan en el Presupuesto de Egresos de la Federación correspondiente.

Artículo 26.- Cada año la Secretaría llevará a cabo la actualización de la Estrategia y presentará una prospectiva sobre los avances logrados en la transición energética y el aprovechamiento sustentable de las energías renovables, incluyendo un diagnóstico sobre las aplicaciones de las tecnologías limpias y las energías renovables, así como sobre el ahorro y uso óptimo de toda clase de energía.

Artículo 27.- Se crea el Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía.

El Fondo contará con un comité técnico integrado por representantes de las Secretarías de Energía, quien lo presidirá, de Hacienda y Crédito Público, de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, de Medio Ambiente y Recursos Naturales, de la Comisión Federal de Electricidad, de la Compañía de Luz y Fuerza del Centro, del Instituto Mexicano del Petróleo, del Instituto de Investigaciones Eléctricas y del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

El comité emitirá las reglas para la administración, asignación y distribución de los recursos en el Fondo, con el fin de promover los objetivos de la Estrategia.

Asimismo, con el propósito de potenciar el financiamiento disponible para la transición energética, el ahorro de energía, las tecnologías limpias y el aprovechamiento de las energías renovables, el comité técnico a que se refiere este artículo, podrá acordar que con cargo al Fondo se utilicen recursos no recuperables para el otorgamiento de garantías de crédito u otro tipo de apoyos financieros para los proyectos que cumplan con el objeto de la Estrategia.

Artículo 28.- Los recursos de la Estrategia deberán ser ejercidos con base en los principios de honestidad, legalidad, productividad, eficiencia, eficacia, rendición de cuentas, transparencia gubernamental y máxima publicidad.

Artículo 29.- La Estrategia se sujetará a los mecanismos de control, auditoría, evaluación y rendición de cuentas que establezcan las disposiciones legales, a fin de asegurar el cumplimiento de los principios enumerados en el artículo precedente.

Artículo 30.- El Ejecutivo Federal, los gobiernos de las entidades federativas, del Distrito Federal y de los Municipios, podrán firmar convenios con los Suministradores con objeto de que, de manera conjunta, se lleven a cabo proyectos de aprovechamiento de las energías renovables disponibles en su territorio.

Artículo 31.- El Ejecutivo Federal diseñará e instrumentará las políticas y medidas para facilitar el flujo de recursos derivados de los mecanismos internacionales de financiamiento relacionados con la mitigación del cambio climático.

Dichas políticas y medidas promoverán la aplicación de los mecanismos internacionales orientados a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, de conformidad con la legislación ambiental aplicable. Asimismo, las Dependencias, entidades competentes, o a quien designen éstas, podrán desempeñar al igual que los Suministradores, el papel de intermediarios entre los proyectos de aprovechamiento de las energías renovables y los compradores de

certificados de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en el mercado internacional.