



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

---

---

**UTILIZACIÓN DE BIODIGESTORES PARA LA  
REDUCCIÓN DE GASES DE EFECTO  
INVERNADERO**

**TESIS PROFESIONAL**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO**

**PRESENTA:**

**AZTIMBA DONAJI MARTÍNEZ HERNÁNDEZ**

**DIRECTOR DE TESIS:**

**DR. ARTURO REINKING CEJUDO**

**CIUDAD UNIVERSITARIA, MÉXICO, D.F. JUNIO 2008**





Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## AGRADECIMIENTOS

Al **Dr. Arturo Reinking Cejudo** por haber aceptado ser mi director de tesis y mí guía en la realización de ésta. Por su paciencia, disponibilidad, sus enseñanzas y sus correcciones.

Al **profesor Reinking** que el destino me presento un buen día sin que yo tocará a su puerta ya que el la abrió primero, con esa particular amabilidad que lo caracteriza, con esa disponibilidad de ayudar a cualquier alumno que lo necesite, con esa sabiduría impartida en sus clases especialmente interesantes.

À **A. R.** merci beaucoup pour faire partie de ma vie, pour croire dans mes rêves, pour m'encourager à les accomplir, par ces entretiens intéressants, par le privilège de l'accompagner à manger, par la musique de l'âme tellement belle que j'ai été capable d'entendre et spécialement pour ouvrir mes ailes.

A **Isoprano** por la ayuda económica proporcionada que hizo posible la realización de mis estudios profesionales.

Al **Ing. Iván Martínez** por creer en mí, en mi futuro y por todo su apoyo incondicional. Après tout ce qui est vécu, *voilà* ¡ Merci frère!

Al **Dr. Alberto Elizalde Baltierra** porque fue en su clase de “Energía e Impacto Ambiental” donde descubrí que quería desarrollarme en cuestiones de energía. Por la aspiración que provoca en sus alumnos a hacer las cosas mejor, para el progreso de uno mismo y consecuentemente del país. Por su ejemplo de rectitud y compromiso, por sus enseñanzas, paciencia y por brindarme consejos valiosos para la vida profesional.

A la **M. I. Tanya Moreno Coronado** por sus enseñanzas, ayuda y orientación. Por ser una gran maestra y por la confianza brindada, Pero sobre todo por creer en sus alumnos e instarlos a ir más allá, alentarnos a no tirar la toalla por más gris que parezca el día.

Al **Dr. Gabriel de los Santos** por la ayuda y colaboración en la realización de la tesis, por su tiempo y explicaciones.

Al **Ing. Juan José López Márquez** por su colaboración en la consulta de venta de energía eléctrica, además de sus consejos, revisiones, por escucharme y animarme en mis sueños.

A la **Dra. Alejandra Castro** por la colaboración en la realización de la tesis en la parte de biodigestión.

Al **Lic. Gelacio Martín** por sus explicaciones y apoyo brindado en la parte económica de la tesis.

Al **Ing. Augusto Cifuentes** por creer en mí y brindarme el apoyo para complementar mi tesis con el diplomado.

A la **Ing. Yolanda Zeferino** por su orientación en las metodologías de proyectos MDL usadas en la de la tesis.

A todos mis amigos, los chavos de lentes:

**Arlem Castañeda Sánchez**, por tu amistad, apoyo, compañía, por tus consejos, por abrir tu alma y dejar que esta intrusa entrara en tu vida y conociera a esa gran persona que eres, por las idas al cine, por los viajes, por esa sonrisa que iluminaba las tardes, por buscar las estrellas, por vivir tus sueños, gracias por sacar lo mejor de mí.

**Brenda Salazar Aguilar**, por colaborar conmigo al principio de la tesis, por tu amistad, por conocerte, por aguantar mis locuras, por los viajes, por alentarme a seguir mis sueños, por tus poemas, por ser una personita tremendamente interesante y profunda, con la que nunca hay tiempo suficiente para el aburrimiento.

**Hideky Garduño**, gracias por esas pláticas en francés, por creer en mí, por tu amistad, por alentarme en mis sueños, por tus consejos, por conocerte socio.

**Eduardo, Erika García Galeana y Sara Ramírez Suárez** por su amistad y los viajes pasados compartidos y los que faltan....

A todos los integrantes de **PAE** por sus enseñanzas, compañía, comprensión, paciencia y por ser un grupo ejemplar de trabajo; **Amparito, Lupita, Ismael, Héctor, Iván, Silvy, Armando, Pepe**, a los chavos del **servicio social**, etc.

A todos mis amigos los chicos de la logia de la Prepa 5: **Francisco Romero, Daniel Marure, Jenoc Trueba, Tonatiuh Calderon, Nancy, Eva, Eugenio<sup>†</sup>, Rafael, Aldo, Julieta, Dalia, Chema, Fernando, etc.,.....** gracias por no dejarme caer, por animarme a seguir, por apoyarme en los momentos difíciles.

A mis amigos **Ángeles Maldonado Susano, Carlos Velásquez Martignon**, por compartir momentos preciados de su vida conmigo, por las clases compartidas, por su amistad, comprensión, apoyo y cariño.

A **Guillermo Estrada Sartí** por su amistad, apoyo, consejos, por los cafés, por las pláticas y por los momentos agradables.

A mis amigos del **AFG**: la profesora **Rosario Martínez**, por su tiempo y dedicación en nuestra salud; a **Janner, Diana, Enrique, Saúl, Teresita, Luis, etc.**

A mis amigos del bloque: **Isaías, Jessica, Angélica, Estefanía, Chayo, Talía, Natanael, José Manuel, Sergio, Rubi, Viridiana, Arturo, Tomás, David, etc.**

A los chicos de las canchas de la Facultad de Ingeniería: **Jorge, Beatriz, Vanessa, Oscar, Lalo, Vero, Quique, Jess, Susana, Mario, Bart, Hiram, Josué, Arturo, Liz, Carlitos, etc.**

A mis amigos de la Facultad: **Miguel, Eli, Martha, Luís, Laura, Cecilia, Araceli, Rodrigo, Paco, Natalia, Gabriela, Lucero, Janet, etc.**

A todos mis **profesores de la Facultad de Ingeniería de la UNAM: Ing Maria Teresa Peñuñuri, Ing. Lorenzo Octavio Miranda Cordero, Ing. Gabriel Jaramillo, Ing. Garibay, Ing. Macias, Ing. Ramos Ayala, M.C. Edgar Salazar, Dr. Enrique, etc.**

**A la Universidad Nacional Autónoma de México.**

**Al pueblo de México.**

*“Gracias a la vida que me ha dado tanto”*

*Sinceramente:*

*Donaji, dona, donalú, donita, donajai, donajui...*

*When we wake up in the morning, we have two simple choices:*

*Go back to sleep and dream or  
Wake up and chase those dreams.  
Choice is yours*

*Time is like a river,  
You cannot touch the same water twice,  
Because the flow that has passed will never pass again.  
Enjoy every moment of life....*

## ÍNDICE

Introducción General y Objetivo.....	7
--------------------------------------	---

### **CAPÍTULO 1 Gases de Efecto Invernadero, Cambio Climático y Calentamiento Global**

Introducción.....	13
1.1 Efecto invernadero.....	15
1.1.1 Gases de Efecto Invernadero (GEI).....	17
a) Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ).....	19
b) Metano (CH <sub>4</sub> ).....	19
c) Óxido Nitroso (N <sub>2</sub> O).....	20
d) CFC's.....	21
e) Otros Gases (HFC, SF <sub>6</sub> , PFC).....	21
1.2 Cambio Climático.....	22
1.3 Calentamiento Global.....	23
1.3.1 Aumento de la temperatura terrestre.....	25
1.3.2 Aumento en los niveles de concentración en los GEI.....	26
1.3.3 Consecuencias del calentamiento Global.....	28
1.3.4 Reacción Mundial ante el Calentamiento Global.....	29
I.-El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC).....	29
II.-Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC).....	30
- Países del Anexo I, Anexo II y No-Anexo I.....	31
III.-El Protocolo de Kyoto (PK).....	32
- Los Mecanismos Flexibles del Protocolo de Kyoto.....	32
- El Mecanismo para un Desarrollo Limpio (MDL).....	33
a) Proceso de Ejecución de un proyecto MDL .....	33
b) Requisitos de elegibilidad que deben cumplirse en el MDL .....	34
c) Certificados de Reducción de Emisiones (CER's).....	36
d) Situación actual de Proyectos MDL a nivel mundial.....	37
Conclusiones.....	39

## **CAPÍTULO 2 Biodigestores**

<b>Introducción.....</b>	<b>43</b>
<b>2.1 ¿Qué es un biodigestor?.....</b>	<b>44</b>
<b>2.1.1 Digestión anaeróbica.....</b>	<b>46</b>
- Fase de <i>Hidrólisis</i> .....	46
- Fase de <i>Acidificación</i> .....	46
- Fase <i>Metanogénica</i> .....	46
<b>2.1.2 Biogás.....</b>	<b>48</b>
<b>2.1.2.1 Principales usos del Biogás.....</b>	<b>49</b>
<b>2.1.2.2 Generación de Energía Eléctrica.....</b>	<b>51</b>
<b>2.1.2.3 Limpieza del Biogás.....</b>	<b>53</b>
<b>2.1.3 Lodos Residuales.....</b>	<b>55</b>
<b>2.1.3.1 Consideraciones del Nitrógeno contenido en la excreta.....</b>	<b>56</b>
<b>2.1.4 Gases liberados por la excreta sin tratar y con uso del biodigestor.....</b>	<b>57</b>
<b>2.2 Tipos de biodigestores.....</b>	<b>59</b>
<b>a) Biodigestores de estructura fija.....</b>	<b>61</b>
- Biodigestor de domo flotante ( <i>Hindú</i> ).....	61
- Biodigestor de domo fijo ( <i>Chino</i> ).....	62
<b>b) Biodigestores de estructura flexible.....</b>	<b>63</b>
<b>c) Biodigestores de alta velocidad o flujo inducido.....</b>	<b>64</b>
<b>d) Biodigestores industriales.....</b>	<b>64</b>
<b>2.3 Factores de riesgo.....</b>	<b>65</b>
<b>Conclusiones.....</b>	<b>66</b>

## **CAPÍTULO 3 Granjas Porcinas. Caso de Estudio.**

<b>Introducción.....</b>	<b>69</b>
<b>3.1 Panorama mundial y nacional de la porcicultura.....</b>	<b>70</b>
<b>3.2 El estiércol de cerdo.....</b>	<b>73</b>
<b>3.2.1 La producción del estiércol de cerdo y su potencial contaminante.....</b>	<b>74</b>
<b>3.2.2 Emisiones al aire.....</b>	<b>75</b>
- Olores.....	76
- Polvo.....	76

3.2.3 Emisiones relacionadas con el nitrógeno.....	76
3.2.4 Emisiones al suelo, al agua subterránea y a la superficie del agua.....	78
3.3 Gestión y procesamiento del estiércol.....	79
- Secado natural.....	79
- Secado artificial.....	79
- Ensilaje.....	79
- Separación de líquidos y sólidos.....	80
- Tratamientos con productos químicos.....	80
- Oxidación aeróbica de los líquidos.....	80
- Peletizado.....	80
- Otros.....	80
3.4 Caso de Estudio.....	81
3.4.1 Descripción.....	81
3.4.1.1 Determinación Potencial de Biogás.....	83
3.4.1.2 Determinación potencial de generación eléctrica por tecnologías viables.....	85
3.4.1.3 Descripción de los Motores.....	89
Conclusiones.....	92

#### **CAPÍTULO 4 Aspectos Técnico - Económicos**

Introducción.....	95
4.1 Selección técnica y operacional de la tecnología a usar.....	97
4.1.1 Selección tipo de Biodigestor.....	97
4.1.2 Elecciones para destino del biogás.....	97
4.1.3 Selección tipo de motor para generación de electricidad.....	97
4.1.4 Otros residuos del biodigestor.....	100
4.1.4.1 Lodo residual.....	100
4.1.4.2 Hidrogeno.....	100
4.2 Estimación costo del proyecto en base a tecnología seleccionada.....	100
4.3 Aspectos de consideración para la venta de energía eléctrica.....	102
4.4 Venta de bioabono.....	103
4.5 Metodologías.....	104
4.5.1 Criterios de aplicabilidad.....	104

4.5.2 Escenario “Línea Base” y Adicionalidad.....	104
4.5.2.1 Posibles escenarios de Línea Base (LB).....	105
4.5.2.2 Adicionalidad.....	106
4.5.3 Fuentes de Emisiones.....	107
4.5.4 Análisis de Reducción de emisiones.....	108
4.4.4.1 Calculo de emisiones tCO <sub>2</sub> . Caso de estudio.....	109
4.6 Compra y venta de Certificados de Reducción de Emisiones (CERs).....	110
4.6.1 Precio del CER.....	110
4.7 Costes de transacción.....	111
4.8 Presentación de Alternativas.....	112
4.8.1 Aspectos a tomar en cuenta para las alternativas.....	112
4.8.1.1 Valor Presente Neto (VPN).....	112
4.8.1.2 Índice Beneficio-Costo (B/C).....	113
4.8.1.3 Tasa de descuento.....	114
4.8.2 Alternativa 1.-Proyecto Biodigestor con Quemador sin Fosa.....	114
4.8.3 Alternativa 2.-Proyecto Biodigestor con Quemador con Fosa.....	116
4.8.4 Alternativa 3.-Proyecto Biodigestor con Quemador con Fosa con Motogenerador sin Bonos de Carbono.....	118
4.8.5 Alternativa 4.-Proyecto Biodigestor con Quemador con Fosa con Motogenerador con Bonos de Carbono.....	120
Conclusiones.....	122

## ***CAPÍTULO 5 Análisis de Resultados***

Introducción.....	127
5.1 Análisis Financiero. Análisis de diversos escenarios para las alternativas propuestas.....	128
5.1.1 Metodología General de Análisis.....	128
5.1.2 Resultados de cada escenario.....	139
5.1.2.1 Primer Escenario.- Tarifa al 60% del precio de referencia. Tasa de descuento del 15%.....	129
5.1.2.2 Segundo escenario.- Tarifa al 60% del precio de referencia. Tasa de descuento del 18%.....	130

5.1.2.3 Tercer escenario.- Tarifa al 80% del precio de referencia. Tasa de descuento del 15%.....	131
5.1.2.4 Cuarto escenario.- Tarifa al 80% del precio de referencia. Tasa de descuento del 18%.....	132
5.1.3 Resultado General del Análisis Financiero.....	133
5.2 Análisis de Resultados Reducción de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero.....	134
5.2.1 Emisiones de tCO <sub>2</sub> e Sin Proyecto vs Con Proyecto Alternativas 1 (Biodigestor sin fosa) y 2 (Biodigestor con fosa).....	134
5.2.2 Emisiones de tCO <sub>2</sub> e Sin Proyecto vs Con Proyecto Alternativas 3(Biodigestor con fosa y MG sin BC) y 4(Biodigestor con fosa y MG con BC).....	136
5.3 Análisis de barreras.....	137
5.3.1 Barreras de inversión.....	137
5.3.2 Barrera Legales.....	138
5.3.2.1 Normas existentes. La Norma Ambiental NOM-001.....	139
5.3.3 Barreras Tecnológicas.....	140
5.3.4 Conclusión sobre el Análisis de Barreras.....	141
Conclusiones.....	142
CONCLUSIONES GENERALES.....	145
Índice De Figuras.....	153
Índice De Tablas.....	155
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
Fuentes Consultadas para la Realización del Estudio Técnico-Económico.....	157
Bibliografía Complementaria.....	158
Relación de páginas electrónicas consultadas.....	159
Abreviaturas.....	161



## **INTRODUCCIÓN GENERAL Y OBJETIVO**

Ante las fluctuaciones que se están dando en el comportamiento del clima y los desastres medioambientales suscitados como: huracanes, ciclones, tormentas, olas de calor crecientes, intensas precipitaciones pluviales, etc., la humanidad cobra mayor interés debido a que ocurren con más frecuencia. Se han realizado estudios para conocer las posibles causas y se han formado organismos mundiales que buscan reaccionar ante tales cambios para frenar lo que ahora se conoce como calentamiento global que genera el cambio climático.

Las soluciones encontradas proponen una disminución de las emisiones de los gases de efecto invernadero, cuya proporción en la atmósfera ha sido alterada por la humanidad debido al estilo de vida adoptado, en el cuál se hace uso de una gran cantidad de energía, cuyo aumento es más notable a partir de la Revolución Industrial.

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) principal órgano mundial creado para construir soluciones ante tal problemática establece como objetivo último, la estabilización de gases de efecto invernadero. Por ello se adoptó el Protocolo de Kyoto (PK) que incluye diversos mecanismos para facilitar a los países industrializados comprometidos a contribuir con tal objetivo.

Reconociendo esto se crea el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) para impulsar el desarrollo sostenible de los países en vías de desarrollo, con la colaboración de éstos en programas identificados y bien estructurados que se consideren impacten en la disminución de gases de efecto invernadero y al mismo tiempo promuevan el avance en las economías de dichos países.

Se debe reconocer también que es más costoso disminuir una tCO<sub>2</sub>e en los países desarrollados debido a la gran cantidad de energía que consumen precisamente porque son países industrializados. En cambio los que aun están en vías, empiezan a acceder cada vez más a las nuevas tecnologías y a la demanda de energéticos para su progreso y por ello es necesario el instituir programas de bajo impacto ecológico.

Los biodigestores son una propuesta para el tratamiento de los desechos de granjas porcinas que contribuye a la reducción de gases de efecto invernadero. Es en éstos donde se le da un uso efectivo a la excreta de los animales de tal manera que dejen de ser un problema para convertirse en un insumo importante en la granja. Así, al tratar las excretas se deja de emitir CH<sub>4</sub> a la atmósfera cuyo potencial contaminante es 21 veces más dañino que el CO<sub>2</sub> que se libera al quemar el gas metano obtenido en el biodigestor.

Los biodigestores, objetivo principal de esta tesis, son proyectos muy interesantes que deben ser tomados en cuenta para contribuir con la disminución de problemas medioambientales, generar energía y apoyarse en ellos también para ingresarlos dentro de los esquemas MDL.

Para entender esto, en el primer capítulo veremos cómo se define el efecto invernadero y cuáles son los principales gases que lo provocan, así como aspectos relevantes que nos ayuden a diferenciar entre calentamiento global y cambio climático. También conoceremos cuál ha sido la reacción de la humanidad ante tal problemática, qué es y cómo se ejecuta un proyecto MDL, qué son los Bonos de Carbono y su comercialización.

En el segundo capítulo abordaremos el tema de los biodigestores, su estructura y funcionamiento. Se entenderá el proceso químico de descomposición que sufren las excretas dentro de estos sistemas. Conoceremos que residuos nos dejan y para qué nos sirven. Se mostrará cómo es que cambiando las prácticas de gestión de las excretas puede contribuirse a la disminución de los gases como CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O.

El tercer capítulo da un panorama general de cómo se encuentra el sector porcícola mexicano, cuál es la tendencia en la producción de cerdos y cómo sus excretas afectan al medioambiente. Conoceremos cómo son tratados estos desechos y dónde se depositan actualmente. Se dará a conocer las particularidades del caso de estudio, la caracterización de una granja típica, así como de los primeros resultados encontrados en cuanto a producción de biogás y generación de energía, así también las características de los motogeneradores a considerar.

Es en el cuarto capítulo donde se verán los aspectos técnicos de las tecnologías seleccionadas para la implementación de un biodigestor así como la parte de costos. Se incluye la metodología requerida para que se reconozca el proyecto como MDL y cómo se aplica para el cálculo y análisis de diversos parámetros. Se conocerán las alternativas propuestas en las que se observan esquemas que plantean colocar el biodigestor y quemar el metano o producir electricidad. Se hace notar si existen excedentes de electricidad y cuáles son los ingresos que se obtienen por su venta.

Una evaluación técnico-económica y financiera, nos proporciona una idea general de qué es lo que se necesita para implementar un proyecto de biodigestor, qué ganancias nos deja y si es atractivo invertir en el proyecto, además de qué tan posible es que se califique como MDL, para contar con los ingresos por la venta de Bonos de Carbono. Los proyectos son evaluados por el método de valor presente neto.

En el capítulo quinto se analizan los resultados obtenidos del análisis financiero, y se obtienen índices de beneficio-costos que contemplan diversos escenarios de acuerdo a cuál es el precio de los Bonos de Carbono. Notamos cuáles son las reducciones de emisiones estimadas por la implementación de cada alternativa. Analizamos las barreras de inversión, tecnológicas y legales. Concluimos especificando con qué características es posible implementar un proyecto de biodigestor que califique como MDL y con cuáles no lo es, pero no obstante resulte en un proyecto interesante para inversión.

En base a lo anterior el objetivo general de esta tesis consiste en:

- Determinar bajo que circunstancias es rentable invertir en Biodigestores para procesar excreta de ganado porcino para contribuir a la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero.

Los objetivos específicos son:

- Recopilar información actualizada sobre aspectos técnicos y económicos de biodigestores anaeróbicos para procesar dicha excreta.

- Estudiar la viabilidad de que los proyectos mencionados cumplan con los requisitos para ser registrados como proyectos del mecanismo de desarrollo limpio del Protocolo de Kyoto
- Identificar los factores que tienen mayor impacto en la estimación de la rentabilidad de estos proyectos.
- Analizar bajo que circunstancias tiene sentido desde el punto de vista económico ampliar el alcance de estos proyectos para generar electricidad en base a la recuperación de metano.

# Capítulo 1

## **Gases de Efecto Invernadero, Cambio Climático y Calentamiento Global**



## **Capítulo 1. EFECTO INVERNADERO, CAMBIO CLIMÁTICO Y CALENTAMIENTO GLOBAL**

### **Introducción.**

Los términos “efecto invernadero”, “cambio climático” y “calentamiento global” son muchas de las veces confundidos y mal interpretados; el efecto invernadero es un fenómeno natural del planeta necesario para mantener una temperatura que permita el desarrollo de la vida misma. Por ello se analiza dicho fenómeno al principio de este capítulo, así como los gases que participan en él.

Posteriormente se considera cómo los cambios climáticos han existido en la tierra antes de que el hombre la habitara. Estos cambios ocurrían a ciertos lapsos de tiempo, cientos de miles de años, pero a partir de la Revolución Industrial y como consecuencia del aumento en las proporciones de los gases de efecto invernadero, se está incrementando la velocidad del último cambio climático.

Se llega entonces a la descripción del cambio climático actual: el “Calentamiento Global”, que como se verá, se debe a que al alterarse la proporción de los gases que causan el efecto invernadero, la tierra aumenta su temperatura, lo que trae consigo que el clima en cada región sea modificado, de manera que las consecuencias son cada vez mas graves para la humanidad.

Algunos de los ejemplos encontrados de tales consecuencias como: las precipitaciones pluviales intensas en unos lugares y escasas en otros, los huracanes mas frecuentes cada vez y de mayor intensidad, el nivel de los océanos en aumento debido al derretimiento de los casquetes polares, han hecho que el hombre se interese de manera importante en el tema y por consiguiente tome cartas en el asunto.

En este capítulo veremos también cuál ha sido la reacción de la humanidad en cuanto a la creación de organismos internacionales para promover una disminución en los gases de efecto invernadero.

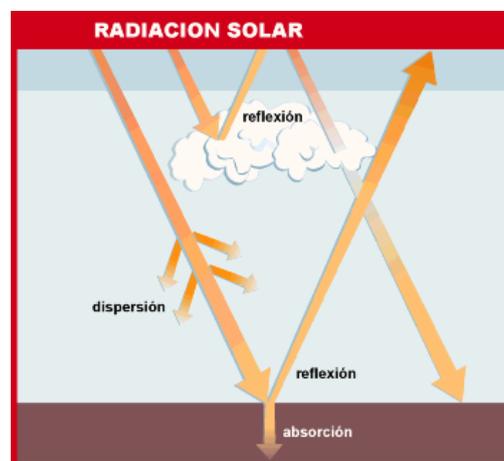
De las acciones puestas en marcha y promovidas por la organización a cargo del cambio climático se pone especial énfasis en el proyecto de Mecanismo de Desarrollo Limpio, el cuál se describe.

## 1.1 Efecto invernadero

El efecto invernadero es un fenómeno natural del planeta y evita que una parte del calor del sol recibido por la tierra deje la atmósfera y vuelva al espacio. Este mecanismo permite que el planeta tenga una temperatura aceptable para el desarrollo de la vida tal y como la conocemos. Sin dicho proceso la tierra tendría  $-18^{\circ}\text{C}$  de temperatura<sup>1</sup>.

El efecto invernadero de la atmósfera terrestre tiene que ver con procesos radiativos que ocurren en ella. La radiación es una forma de energía, y es la única que se transmite en el vacío.

El sol emite energía en forma de radiación de onda corta, está se manifiesta principalmente en la forma de rayos en el espectro visible. Incluye también dosis significativas de radiación ultravioleta, de longitud de onda menor que la visible. La parte ultravioleta es absorbida en buena parte por el ozono y otros gases en la alta atmósfera, contribuyendo a su calentamiento, mientras que la luz visible traspasa la atmósfera casi sin problemas. Figura 1.1 a



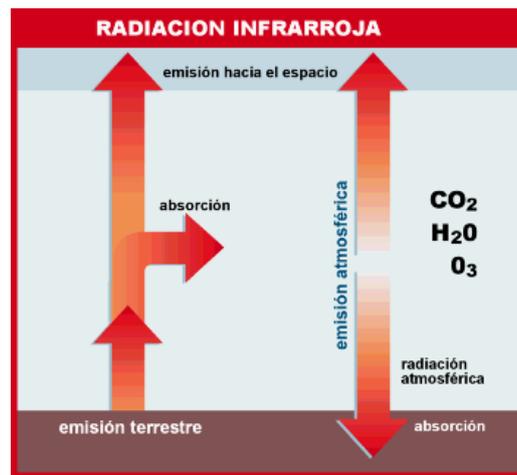
**FIGURA 1.1 a) Esquema Radiación Solar FUENTE: Departamento de Geofísica de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile. Programa Explora de Chile (proyecto ED499/019)**

Después de pasar por la atmósfera, donde sufre un proceso de debilitamiento por la difusión, reflexión en las nubes y de absorción por las moléculas de gases (como el ozono y el vapor de agua) y por partículas en suspensión, la radiación solar alcanza la

<sup>1</sup> Se considera una temperatura promedio actual de  $14^{\circ}\text{C}$

superficie terrestre que la refleja o la absorbe. La cantidad de radiación absorbida por la superficie (continentes, océanos, casquetes polares) es devuelta en dirección al espacio exterior en forma de radiación de onda larga, principalmente en forma de energía infrarroja o calor. Figura 1.1 b

Parte de esta energía infrarroja se refleja hacia la tierra, mediante gases en la atmósfera llamados “gases de efecto invernadero”.



**FIGURA 1.1 b Esquema Radiación Infrarroja<sup>2</sup>. FUENTE: Departamento de Geofísica de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile. Programa Explora de Chile (proyecto ED499/019)**

En la figura 1.1 c se muestra como se lleva cabo este mecanismo. La radiación solar incidente que llega a la parte externa de la atmósfera es de  $342 \text{ [W / m}^2\text{]}^2$ . De la cuál  $107 \text{ [W / m}^2\text{]}$  se reflejan directamente desde las nubes y la superficie terrestre. La fracción de radiación solar que se refleja directamente al espacio sin ninguna interacción se llama *albedo*<sup>3</sup> de la Tierra y es aproximadamente del 30%. Los mejores reflectores son las nubes y los bloques de hielo polar. Los  $235 \text{ [W / m}^2\text{]}$  restantes interactúan con la atmósfera y con la superficie terrestre y regresan al espacio como radiación de onda larga.

<sup>2</sup> Medimos la energía transferida a o emitida desde una parte del sistema en términos de la irradiancia ( $\text{W / m}^2$ ).

<sup>3</sup> Es frecuente confundir los efectos del albedo con los del efecto invernadero, pero el primero se refiere a energía devuelta directamente al espacio, mientras que el segundo lo hace a energía primero absorbida y luego emitida.

Sólo 40 [W / m<sup>2</sup>] se emiten directamente como radiación de onda larga desde la superficie de la Tierra al espacio. Esto ocurre porque los GEI no absorben todas las longitudes de onda. Hay algunos huecos<sup>4</sup> en el espectro de absorción superpuesto del agua (que absorbe aproximadamente el 60%), el dióxido de carbono, el metano, el óxido nítrico, el ozono y otros gases de efecto invernadero. Aquí, la radiación infrarroja puede desaparecer como a través de una ventana en el tejado de un invernadero

**BALANCE DE LA RADIACIÓN GLOBAL**

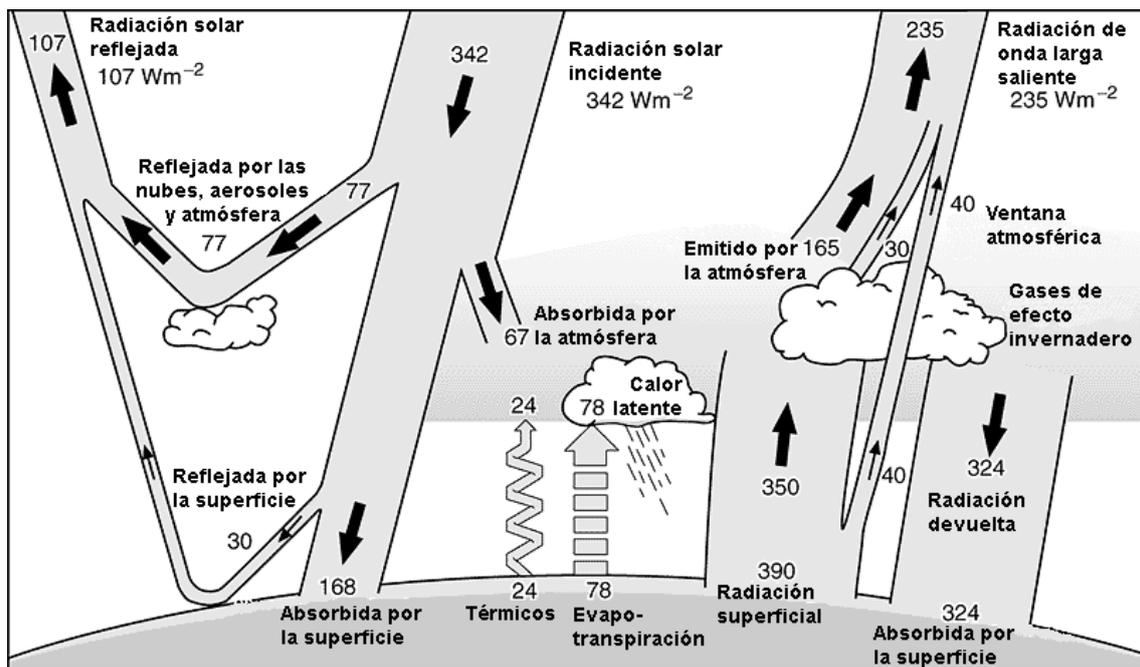


FIGURA 1.1 c) El balance de la radiación global como se publica en IPCC TAR Cáp. 1.2.1

**1.1.1 Gases de Efecto Invernadero (GEI)**

Las paredes y el techo de vidrio de un invernadero permiten la entrada de la luz del sol, pero no permiten que el calor se escape. Esto causa que la temperatura dentro del invernadero sea más cálida que en el exterior. Por esta similitud le fue dado el término "Efecto Invernadero" que se ha analizado anteriormente. Este techo de vidrio es comparado entonces con la función que desempeñan ciertos gases atmosféricos que veremos a continuación.

<sup>4</sup> En particular, los huecos más importantes en la absorción del agua y el dióxido de carbono son lo que se llama la ventana atmosférica

La atmósfera terrestre consiste casi por entero en oxígeno (78%), nitrógeno (21%) y argón (0.9%). Estos gases son bastante transparentes tanto para la luz visible como para la clase de radiación infrarroja que emite la superficie terrestre cuando está caliente. Pero en la atmósfera también existe una capa de gases cuyo papel a desempeñar es el de retener el calor del Sol en la atmósfera de la Tierra.

Los denominados GEI responsables del efecto descrito, son:

- **Vapor de agua (H<sub>2</sub>O)**
- **Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)**
- **Metano (CH<sub>4</sub>)**
- **Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O)**
- **Clorofluorocarburos (*artificiales*)**
- **Otros Gases (HFC, SF<sub>6</sub>, PFC)**

Se pueden distinguir dos grupos principales: los "naturales" y los "artificiales". Es decir, los que ya existían antes de la presencia del humano en el planeta, y los que han sido fabricados por él.

El primer grupo corresponde al de los gases "naturales", el que más influye es el vapor de agua, después el Dióxido de Carbono que aporta el 50 %, luego el Metano que contribuye con aproximadamente un 15 %, seguidos por el Óxido Nitroso y Otros.

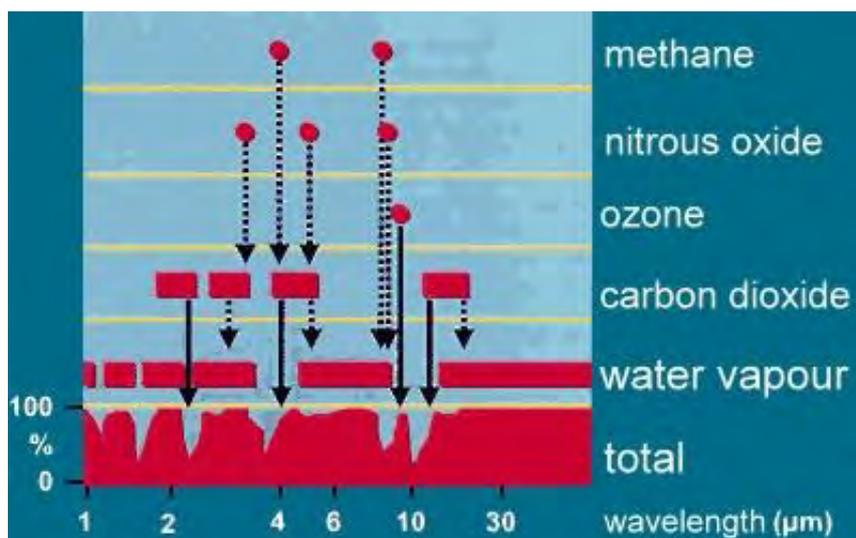
En el segundo grupo habría que situar a los gases de la familia de los CFC's.

La figura 1.1.2 b muestra porqué los gases invernadero son bastante eficientes. El vapor de agua absorbe a un amplio rango de longitudes de onda la radiación infrarroja emitida por la superficie de la Tierra y mantiene el calor. Sin embargo a algunas longitudes de onda, la absorción es muy débil o cercana a cero y la barrera de vapor de agua tiene una ventana permeable<sup>5</sup>. Justo a estas longitudes de onda otros GEI como CO<sub>2</sub> o CH<sub>4</sub>, también el óxido nitroso y los CFC's absorben radiación y acortan la ventana.

---

<sup>5</sup> Ventana atmosférica

## ABSORCIÓN DEL AGUA Y OTROS GASES INVERNADERO



**FIGURA 1.1.2** Absorción del agua y otros gases invernadero. FUENTE: Climate Website Deutsches Museum

### a) Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)

El Dióxido de Carbono<sup>6</sup> ingresa a la atmósfera a través de la oxidación o combustión del carbono orgánico. Es emitido durante la respiración de casi todas las formas de vida. Se produce en cada reacción de combustión. La mayoría de la energía eléctrica se genera quemando combustibles fósiles que producen dióxido de carbono

Los procesos naturales generan un balance entre lo que se emite y lo que se absorbe. Pero las evidencias indican que sólo algo más de la mitad de las emisiones de carbono producto de la actividad humana es absorbida en estos procesos naturales. El resto (45%) contribuye a aumentar la concentración de carbono en la atmósfera, y por consiguiente, la retención de calor solar.

### b) Metano (CH<sub>4</sub>)

El metano<sup>7</sup> es una sustancia que se presenta en forma de gas a temperaturas y presiones ordinarias. Se produce en forma natural por la descomposición de sustancias orgánicas

<sup>6</sup> El dióxido de carbono, también denominado óxido de carbono (IV) y anhídrido carbónico, es un gas cuyas moléculas están compuestas por dos átomos de oxígeno y uno de carbono.

<sup>7</sup> El metano es el hidrocarburo alcano más sencillo. Cada uno de los átomos de hidrógeno está unido al carbono por medio de un enlace covalente.

en ambientes pobres en oxígeno. También se produce en el sistema digestivo de rumiantes y otros animales, en la explotación de combustibles fósiles, y en la quema de biomasa.

Aproximadamente la mitad de la producción de metano proviene de los sembradíos de arroz y de la actividad animal. Una cuarta parte proviene de tierras pantanosas y húmedas. Un 15% de la producción industrial de gas natural y carbón mineral. Los rellenos de basura y otras sustancias orgánicas en descomposición contribuyen con un 5% de las emisiones de metano.

El proceso de la descomposición de las sustancias orgánicas se puede aprovechar para producir biogás. El metano alcanza constituir hasta el 97% del biogás y por lo tanto es muy peligroso por su facilidad para inflamarse.

El metano tiene una capacidad de absorción de radiación infrarroja 21 veces mayor por molécula que el bióxido de carbono, por lo que el aumento de este gas en la tropósfera tiene el potencial para contribuir de manera significativa a un cambio climático global.

### c) Óxido Nitroso

Proviene principalmente de las chimeneas de las centrales energéticas que utilizan carbón, de los tubos de escape de los automóviles, las excretas de animales y por la acción de los fertilizantes nitrogenados que se utilizan en la agricultura. El nitrógeno presente en muchos fertilizantes orgánicos y minerales, además del estiércol, acelera los procesos naturales de nitrificación y desnitrificación producidos por bacterias y otros microbios en el suelo. Dichos procesos convierten una parte del nitrógeno en óxido nitroso. La cantidad de  $N_2O$  emitida por cada unidad de nitrógeno aplicada en la tierra, depende del tipo y cantidad de fertilizante, las condiciones del suelo y el clima.

El  $N_2O$  es 310 veces más efectivo por molécula que el bióxido de carbono para absorber la radiación infrarroja, por lo que, al igual que en el caso del metano, su aumento tiene consecuencias importantes para el cambio climático planetario. Una característica de este gas es que además de funcionar como gas de invernadero en la tropósfera, dada su larga residencia en la atmósfera, puede llegar a la estratósfera, donde se oxida a óxido nítrico que reacciona con el ozono y lo destruye.

**d) CFC's**

Los Clorofluorcarbonados (CFC) y sus derivados tienen como fuentes principales algunos productos industriales, y los óxidos de nitrógeno, que se producen por multitud de causas, principalmente por la quema de combustibles fósiles y la utilización de fertilizantes químicos.

La producción de cloro-fluoro-carbonos [CFC's] contribuye con aproximadamente el 14% del efecto invernadero. Los CFC's son sustancias químicas sintéticas, formadas por cloro, flúor y carbono. Las moléculas de CFC tienen una larga vida activa. El CFC-11 es activo durante unos 65 años y el CFC-12 durante unos 110 años y tienen de 4,600 a 10,600 veces la capacidad del bióxido de carbono por molécula para absorber la radiación infrarroja.

Las corrientes de aire los transportan hasta la estratósfera donde algunos de ellos se desintegran bajo la luz ultravioleta. En este proceso de desintegración se liberan moléculas de cloro o bromo, provocando una reacción en cadena que ocasiona la destrucción de las moléculas de ozono, provocando el agujero en la capa de ozono.

**e) Otros Gases (HFC, SF<sub>6</sub>, PFC)**

Existen otros GEI pero que se dan en menores concentraciones como los **Carburos hidrofluorados (HFC)** que han sustituido a los CFC's. Los HFC no dañan la capa de ozono, se emplean fundamentalmente en equipos de refrigeración y aire acondicionado, extintores de incendios y aerosoles, pero son potentes gases de invernadero. Los HFC comprenden los HFC-23, HFC-32, HFC-125, HFC-134a y HFC-152a.

El **Hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>)**, se emplea en equipos eléctricos.

Los **carburos perfluorados (PFC)**, se debe a la producción de aluminio. Los PFC comprenden los CF<sub>4</sub> y C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>.

## POTENCIAL DE CALENTAMIENTO GLOBAL DE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO

GAS DE EFECTO INVERNADERO (GEI <sub>i</sub> ) i	Número	Símbolo químico	Masa molecular	Potencial de Calentamiento Atmosférico (PCA <sub>i</sub> )
Dióxido de carbono	1	CO <sub>2</sub>	44	1
Metano	2	CH <sub>4</sub>	16	21
Oxido nitroso	3	N <sub>2</sub> O	30	310
Hidrofluorocarbonos (HFC)	4	HFC 23 (CHF <sub>3</sub> )	70	11700
	5	HFC 125 (CHF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub> )	120	2800
	6	HFC 134a (CH <sub>2</sub> FCF <sub>3</sub> )	102	1300
	7	HFC 152a (CH <sub>3</sub> CHF <sub>2</sub> )	66	140
Perfluorocarbonos (PFC)	8	CF <sub>4</sub>	88	6500
	9	C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	138	9200
Hexafluoruro azufre	10	SF <sub>6</sub>	146	23900

**TABLA 1. Potencial de calentamiento global de los Gases de Efecto Invernadero (GWP). Datos de IPCC 2006. FUENTE: Guía Latinoamericana para Proyectos MDL publicada por la SEMARNAT**

### 1.2 Cambio Climático<sup>8</sup>

El cambio climático<sup>9</sup> es la variación del clima en un momento dado comparado con anteriores registros en el mismo lugar determinado. Tales variaciones se observan en los parámetros climáticos: temperatura, precipitaciones, nubosidad, etc., que se dan en diferentes épocas de tiempo.

Los cambios en los factores climáticos en la Tierra no son una novedad puesto que a lo largo de miles de millones de años de existencia del planeta se han producido numerosas variaciones en el clima global y en las condiciones regionales. Algunos de estos cambios fueron consecuencia de fuerzas terrestres (la actividad volcánica) y procesos naturales<sup>10</sup> internos como otras fuentes de gases de efecto invernadero, otros

<sup>8</sup> El término cambio climático suele usarse, de forma poco apropiada, para hacer referencia tan solo a los cambios climáticos que suceden en el presente, utilizándolo como sinónimo de calentamiento global.

<sup>9</sup> La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático usa el término cambio climático sólo para referirse al cambio por causas humanas.

<sup>10</sup> Al cambio climático producido constantemente por causas naturales lo denomina *variabilidad natural del clima*.

han sido causados por fuerzas externas (como las variaciones en la intensidad de la radiación solar) o los cambios en la órbita de la Tierra alrededor del Sol

Desde hace unos dos millones, la tierra ha sufrido períodos glaciares y épocas de clima cálido que han afectado de forma determinante a todas las formas de vida en la Tierra y ha supuesto grandes cambios e incluso la desaparición de ecosistemas enteros, a pesar de que la temperatura media de la Tierra solo ha variado unos cinco o seis grados entre una época climática y otra.

En el último periodo glacial gran parte de Norteamérica, Sudamérica y Europa quedaron cubiertas bajo gruesas capas de hielo durante muchos años. Ésta acabó hace unos quince mil años. Luego se produjo un cambio climático espectacular, cuando la tierra se calentó, rápidamente los hielos desaparecieron y subió el nivel del mar, provocando inundaciones, creando el mar báltico, el mar negro y eliminando a todos los animales mayores que un coyote del norte de América. Todos estos sucesos no ocurrieron de golpe, pero si, en pocos cientos de años. Se llegó a un período interglacial en el cual vivimos. El proceso se repite cada cien mil años aproximadamente.

Sin embargo han existido pequeñas fluctuaciones climáticas, con unos pocos decenios o siglos, de temperaturas levemente superiores o inferiores a la media, o sequías prolongadas. La más conocida es la Pequeña Era Glacial, registrada en Europa a comienzos de la Edad Media que provocó hambrunas, insurrecciones y el abandono de las colonias septentrionales en Islandia y Groenlandia.

### **1.3 Calentamiento Global**

En pequeñas concentraciones, los gases de invernadero son necesarios para nuestra subsistencia. Pero en mayores cantidades, la consecuencia principal del “efecto invernadero” es “el calentamiento global de la atmósfera”.

Desde la Revolución Industrial la raza humana ha provocado un cambio en el equilibrio de los gases que componen la atmósfera, con relación a los GEI principales, como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>) y el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O).

## VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA GLOBAL

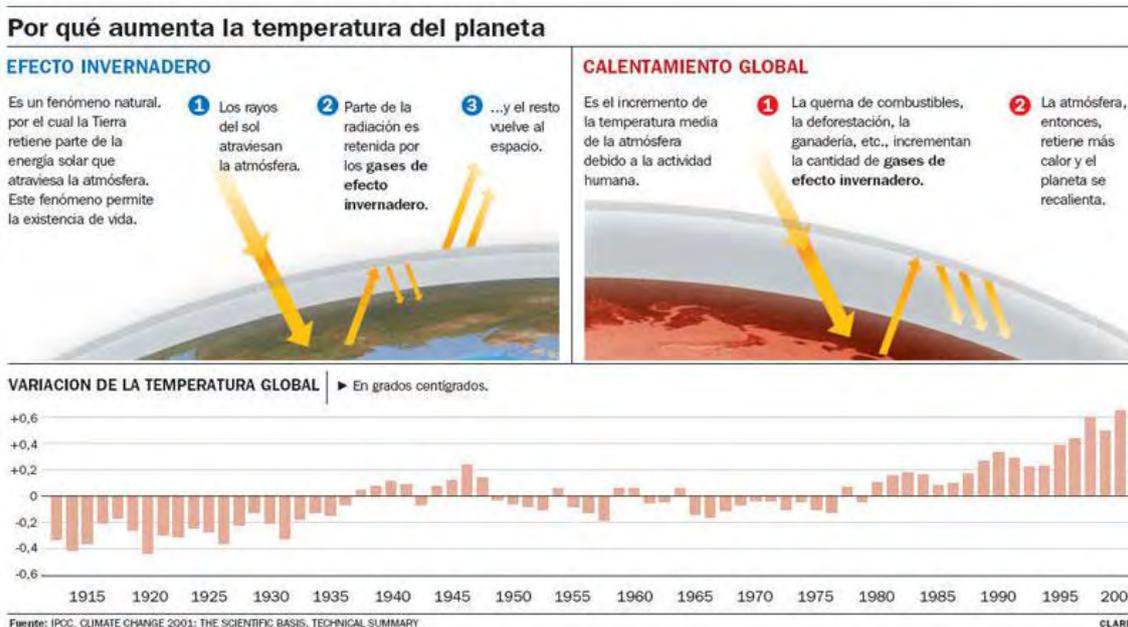


FIGURA 1.3 Variación de la Temperatura Global. FUENTE: IPCC CLIMATE CHANGE 2001

Las concentraciones de GEI en la atmósfera están creciendo rápidamente como consecuencia de que el mundo quema cantidades cada vez mayores de combustibles fósiles en las actividades industriales y el transporte.

Otras actividades esenciales como la cría de ganado y el cultivo de arroz también emiten gases de efecto invernadero. Aunado a esto, el hombre destruye los bosques y praderas, que de otro modo podrían absorber dióxido de carbono y favorecer el equilibrio de la temperatura.

El cambio climático<sup>11</sup> actual que es caracterizado así por una intensa actividad productiva y tecnológica del hombre, podría acelerar el proceso de calentamiento a niveles desconocidos ya que el control del aumento de la temperatura en el planeta no depende sólo de la reducción de los GEI, sino de la interacción entre el aire, el océano y los hielos polares, que mantienen un intercambio de calor y constantes flujos de energía.

Cuando la temperatura del aire aumenta, los océanos liberan más CO<sub>2</sub> y los ecosistemas húmedos más CH<sub>4</sub>. Lo que retroalimenta el fenómeno, que se potencia con el

<sup>11</sup> Al cambio climático en el cual interviene el hombre se usa la expresión *cambio climático antropogénico*.

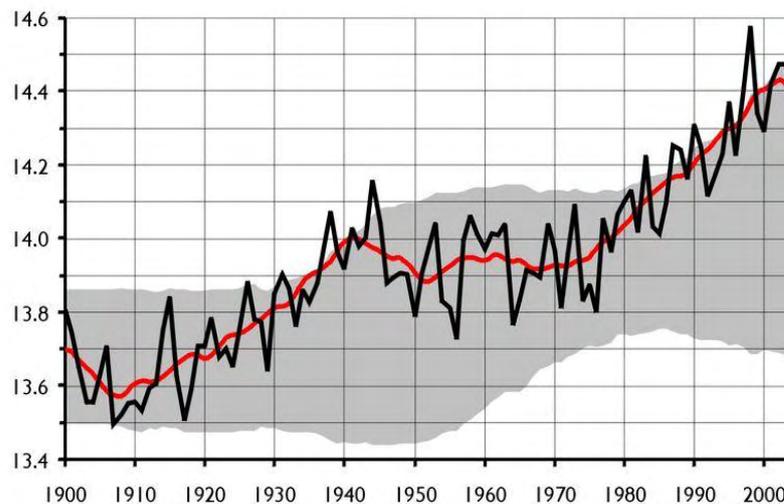
incremento de la humedad del aire, y su capacidad de retención de la radiación infrarroja difusa procedente de la superficie. Además, el océano absorbe la energía del Sol y el mecanismo de distribución se hace a través de las corrientes marinas.

### 1.3.1 Aumento de la temperatura terrestre

Durante el último siglo, la temperatura media global ha aumentado 0,6°C, llegando a aumentar 1° C en Europa, lo que es un calentamiento inusualmente rápido. De hecho, el siglo pasado fue el más cálido, y la década de los 90 fue la más calurosa de los últimos 1000 años. Según la NASA, los cinco años más calurosos han sido, en este orden, los siguientes:

1. 2005
2. 1998
3. 2002
4. 2003
5. 2004

#### AUMENTO DE LA TEMPERATURA MUNDIAL



**FIGURA 1.3.1** Aumento de la Temperatura Mundial (1900-2004). FUENTE: Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A

Expertos del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático [IPCC]<sup>12</sup>, predicen que la temperatura de la tierra podría aumentar en 5,8°C durante el presente. Según el

<sup>12</sup> Intergovernmental Panel on Climate Change

IPCC, durante el siglo XX la temperatura promedio de la atmósfera se incrementó entre 0,4 y 0,8 °C. Mientras que ese comportamiento en el siglo XIX fue de 0,5°C.

### 1.3.2 Aumento en los niveles de concentración en los GEI.

Durante los últimos 400,000 años la concentración de CO<sub>2</sub> en el aire siempre ha oscilado entre 180 ppm en los periodos glaciares y 280 ppm durante los periodos interglaciares.

Esta tendencia cambió con el inicio de la industrialización y el incremento de la explotación del combustible fósil por el hombre como fuente de energía. Las emisiones de CO<sub>2</sub> han crecido exponencialmente y alcanzado valores de alrededor de 381 ppm en el presente. Comparado con esa situación bastante estable que duró varios miles de años, en el actual periodo cálido el aumento del CO<sub>2</sub> ha sido muy rápido y se ha producido principalmente por el impacto humano (Figura 1.3.2 a).

La concentración del N<sub>2</sub>O ha aumentado a una tasa anual de 0.2 a 0.3% en los últimos 20 a 30 años hasta alcanzar una concentración actual de 320 ppb.

#### VARIACIONES DE CO<sub>2</sub>

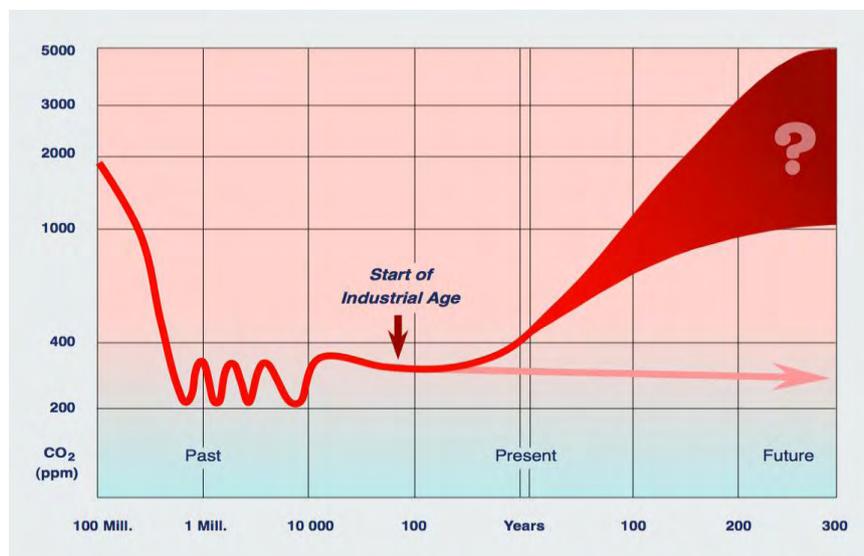


FIGURA 1.3.2 a) Variaciones De Co<sub>2</sub>. AUTOR: Hannes Grobe, 2006, UTC.

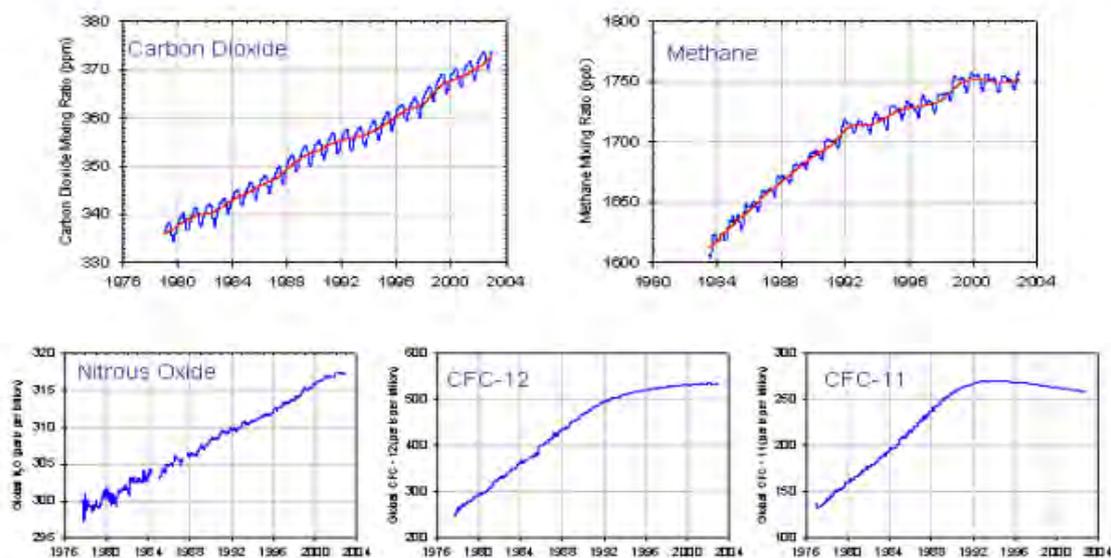
Alrededor del 60% de las emisiones de metano se deben a actividades humanas como la agricultura, uso del petróleo y tratamiento de basuras. La creciente contribución humana en la concentración de metano ha sido más que doblada durante los últimos 100 años.

### LOS GASES INVERNADERO, SU CONCENTRACIÓN

Gas invernadero	Abundancia 1750	Abundancia 1998	Abundancia 2006
Dióxido de carbono CO <sub>2</sub>	280 ppm	365 ppm	381.2 ppm
Metano CH <sub>4</sub>	700 ppb	1745 ppb	1782 ppb
Óxido nitroso N <sub>2</sub> O	270 ppb	314 ppb	320.1 ppb
CFC-11 CFCI <sub>3</sub>	0	268 ppt	A la baja
CFC-12 CF <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	0	533 ppt	A la baja

TABLA 2 Los gases invernadero, su concentración. FUENTE: IPCC TAR 2001 e informe ONU 2006

### Global Trends in Major Greenhouse Gases to 1/2003



Global trends in major long-lived greenhouse gases through the year 2002. These five gases account for about 97% of the direct climate forcing by long-lived greenhouse gas increases since 1750. The remaining 3% is contributed by an assortment of 10 minor halogen gases, mainly HCFC-22, CFC-113 and CCl<sub>4</sub>.

FIGURA 1.3.2 b) Gráficas de la Tendencia Global de los principales Gases de Efecto Invernadero

Si las emanaciones continúan aumentando al ritmo actual (Figura 1.3.2 b), en el siglo XXI los niveles del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>) y el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), en la atmósfera seguirán un acrecentamiento inusitado, y si no se toman medidas

para frenar dichas emisiones, es muy probable que los índices se tripliquen para el año 2100.

### 1.3.3 Consecuencias del calentamiento Global

Debido a los efectos potenciales en la salud humana y en la economía, y debido a su impacto en el ambiente, el calentamiento global es motivo de gran preocupación.

La disminución de la capa de nieve, la elevación del nivel de los mares y los cambios meteorológicos son consecuencias del calentamiento global que pueden influir en las actividades humanas y en los ecosistemas.

#### AUMENTO DE TEMPERATURA Y NIVEL DE MAR

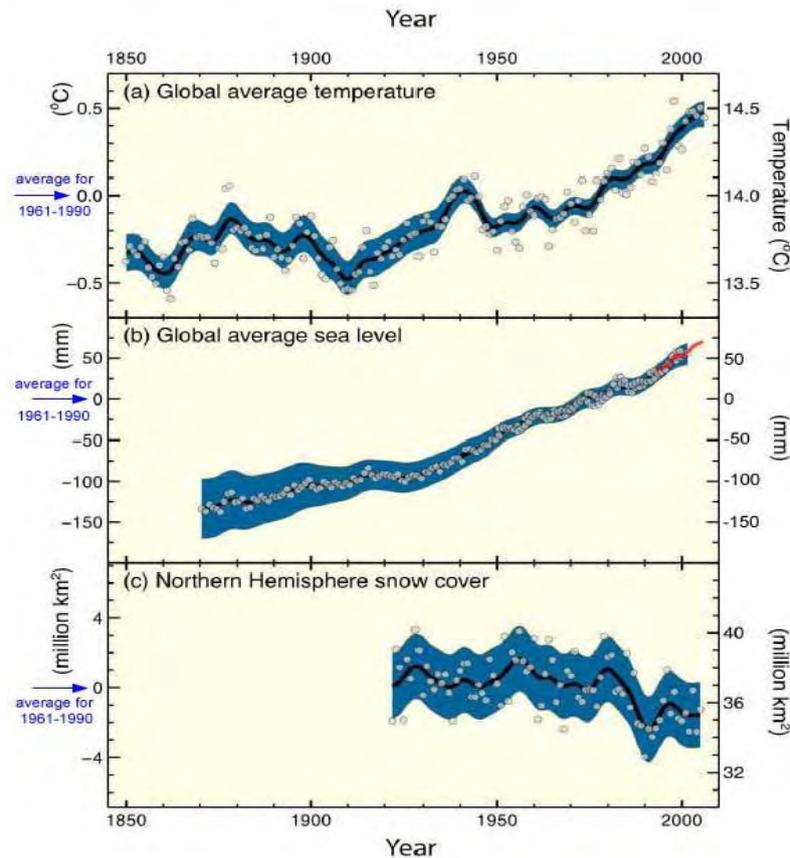


FIGURA 1.3.3 Aumento temperatura y nivel de mar. FUENTE: IPCC Climate Change 2007

Es evidente que un aumento en el nivel de las aguas de los océanos, como consecuencia del derretimiento de los casquetes polares, hará que el calentamiento global sea más drástico (Figura 1.3.3).

Algunas especies pueden ser forzadas a emigrar de su hábitat para evitar su extinción debido a las condiciones cambiantes.

### **1.3.4 Reacción Mundial ante el Calentamiento Global**

A principios de los años setenta se hizo evidente que las concentraciones de CO<sub>2</sub> estaban aumentando. Pero el tema de la influencia del CO<sub>2</sub> en la atmósfera era estudiado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM), organismo especializado de las Naciones Unidas, desde 1951.

Al darse a conocer datos precisos del aumento constante del CO<sub>2</sub> y la temperatura en la baja atmósfera, el tema cobro importancia ante la comunidad internacional, por lo que en 1979 se llevó a cabo la primera Conferencia del Clima Mundial, con el objetivo de revisar los conocimientos existentes sobre el cambio y la variabilidad climática debido a causas naturales y antropogénicas, y para evaluar las posibles modificaciones futuras y sus implicaciones en las actividades humanas.

Los fenómenos naturales cada vez más intensos de los que ha sido testigo la humanidad en las décadas siguientes provocaron que el calentamiento global se volviera un tema primordial en la agenda política internacional

#### **I.-El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC)**

En 1988, después del Congreso Mundial sobre Clima y Desarrollo, el Consejo Gobernante del Programa de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente (UNEP) se reunió en Kenya y estableció, de manera conjunta con la OMM, un organismo intergubernamental para realizar estudios sobre calentamiento global.

Se forma entonces el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) o Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Este grupo internacional está formado por destacados científicos especialistas en la materia provenientes de diversos países del mundo,

El IPCC evalúa exhaustivamente la información disponible, a nivel mundial, sobre todo lo relacionado con el cambio climático. También proporciona asesoramiento científico,

técnico y socioeconómico a la Conferencia de las Partes (COP) de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC).

## **II.-Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC)**

El primer reporte del IPCC provocó que los gobiernos decidieran impulsar la negociación de una Convención internacional, con apoyo de la Asamblea General de las Naciones Unidas, para buscar soluciones y acuerdos respecto al calentamiento global.

A fines de 1990 se acordó iniciar los trabajos de negociación para generar los consensos necesarios para la elaboración de una Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

La CMNUCC fue aprobada en mayo de 1992 y entró en vigor en marzo de 1994.

“La CMNUCC proporciona el marco institucional global para combatir el cambio climático, define el objetivo de los esfuerzos y los principios fundamentales para alcanzarlos”.<sup>13</sup>

El objetivo de la CMNUCC es "la estabilización de las concentraciones de gases invernadero en la atmósfera a un nivel que evite la interferencia del daño antropogénico con el sistema climático."<sup>14</sup>

La CMNUCC reconoce que los países desarrollados e industrializados son responsables de la mayor parte de la formación actual de gases invernadero en la atmósfera y que éstos cuentan con los recursos financieros y tecnológicos necesarios para reducir sus emisiones.

Por lo tanto obliga a las Partes firmantes a establecer programas nacionales para reducir las emisiones de gases invernadero y a entregar informes periódicamente.

---

<sup>13</sup> “La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático” .Instituto Nacional de Ecología. Consultor académico Edmundo de Alba. UNAM

<sup>14</sup> CMNUCC en su Artículo 2

Las Partes de la CMNUCC se reúnen anualmente para revisar los progresos y debatir futuras medidas, y se han establecido varios mecanismos de información y control para realizar un seguimiento de los gases invernadero.

### **Países del Anexo I, Anexo II y No-Anexo I**

De acuerdo el diferente grado de responsabilidad que podría ser atribuido a los países de orden mundial se crearon las listas correspondientes a dos agrupamientos.

El primer agrupamiento son los países incluidos en los Anexos I y II de la CMNUCC.

Los países desarrollados fueron asociados en el Anexo I de la Convención, que incorpora a todos los miembros de la OCDE<sup>15</sup> (excepto México quién se incorporo en 1994) y al nuevo grupo de países con economías en transición<sup>16</sup>. Siendo los primeros que iniciaron su industrialización y los mayores contaminadores actuales, son los mayores contribuyentes históricos al incremento de concentraciones de GEI en la atmósfera. Por eso asumieron la obligación de disminuir sus crecientes emisiones de forma tal que sólo alcanzaran el nivel existente alrededor de 1990.

El Anexo II de la Convención constituye un subconjunto del Anexo I, que incluye solamente a los países donadores de la OCDE hasta 1992. “Éstos deben facilitar recursos a los países en desarrollo, para que emprendan esfuerzos de mitigación y desarrollen capacidades de adaptación frente al calentamiento global”<sup>17</sup>.

El segundo agrupamiento, los países No-Anexo I, son todos los demás, entre los cuales se encuentran economías emergentes y toda la gama de países en desarrollo, incluyendo los menos adelantados (PMA). México pertenece a este agrupamiento.

Todos los países adquirieron compromisos para hacer reportes sobre la situación de emisiones de carbono, así como sobre las medidas que han tomado para evitar el fenómeno del Calentamiento Global. Los países en desarrollo mediante apoyos externos, y los desarrollados, sujetos a un detallado proceso de gestación y revisión de sus reportes.

---

<sup>15</sup> Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico.

<sup>16</sup> Países ex socialistas.

<sup>17</sup> Texto de la CMNUCC

### **III.-El Protocolo de Kyoto (PK)**

Ante las evidencias de que el cambio climático implica una amenaza real, la Organización de Naciones Unidas y La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), el 11 de diciembre de 1997 adoptaron un protocolo: el Protocolo de Kyoto.

El objetivo del PK es estabilizar las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera para moderar la injerencia humana en el sistema climático global y establece unos límites legales sobre las emisiones de gases invernadero de los 37 países industrializados originalmente, incluidos todos los Estados miembros de la Unión Europea, salvo Chipre y Malta, así como de la UE como órgano único.

Esto implica que, los países industrializados deben reducir sus emisiones de seis gases invernadero (CO<sub>2</sub>, metano, óxido nitroso, hidrofluorocarbonos, perfluorocarbonos y sulfuro hexafluorido) un 5% aproximadamente por debajo del nivel de 1990 durante el primer período, de 2008 al 2012 y que otros podrían aumentarlos, al tiempo que los países que emiten grandes cantidades pueden comprar reducciones de los que emiten poco.

El PK entró en vigor el 16 de febrero de 2005. Hasta el 18 de abril de 2006, 162 países y la Comunidad Europea habían ratificado el Protocolo. Sin embargo dos países que lo firmaron en un principio no lo han ratificado: EE.UU. que ha rechazado el Protocolo y Australia ha decidido no ratificarlo.

#### **El Mecanismo Flexible del Protocolo de Kyoto**

El PK no establece compromisos de reducción para los países en desarrollo, pero ya que las metas individuales para las Partes del Anexo I<sup>18</sup> requieren una baja en sus emisiones de GEI, el PK incluye lo que se conoce como “mecanismos flexibles”, los cuáles son: Implementación Conjunta, Comercio de Emisiones y Mecanismo de Desarrollo Limpio.

---

<sup>18</sup> Enlistadas en el Anexo B del PK

## **El Mecanismo para un Desarrollo Limpio (MDL).**

El MDL definido en el Artículo 12 del Protocolo del PK, es el único que abre la posibilidad de que países Anexo II financien proyectos de mitigación o de captura de carbono en países no-Anexo I.

Las actividades del proyecto MDL deben también ayudar a los países en desarrollo a lograr un desarrollo sostenible.

Para que pueda llevarse a cabo un proyecto MDL es necesaria la intervención de varios actores con unas funciones claramente definidas, y debiendo cumplirse los denominados requisitos de elegibilidad.

### **a) Proceso de *Ejecución de un proyecto MDL***

El proceso que se debe seguir en la *ejecución de un proyecto MDL* es el que se muestra en la figura A1 y se describen a continuación:

**Participantes del proyecto (PP).** Son aquellas entidades públicas o privadas que promueven e implementan un proyecto MDL.

**Elaboración del Documento de Proyecto (DDP).** Incluirá la metodología y determinación de la base de referencia, el cálculo de la reducción de emisiones, y la metodología y plan de vigilancia de la actividad del proyecto.

**Autoridad Nacional Designada (AND).** Estará encargada de dar la aprobación a este tipo de proyectos y son responsables igualmente de autorizar la participación voluntaria de entidades privadas o públicas en el MDL. Son nombradas por la Partes involucradas.

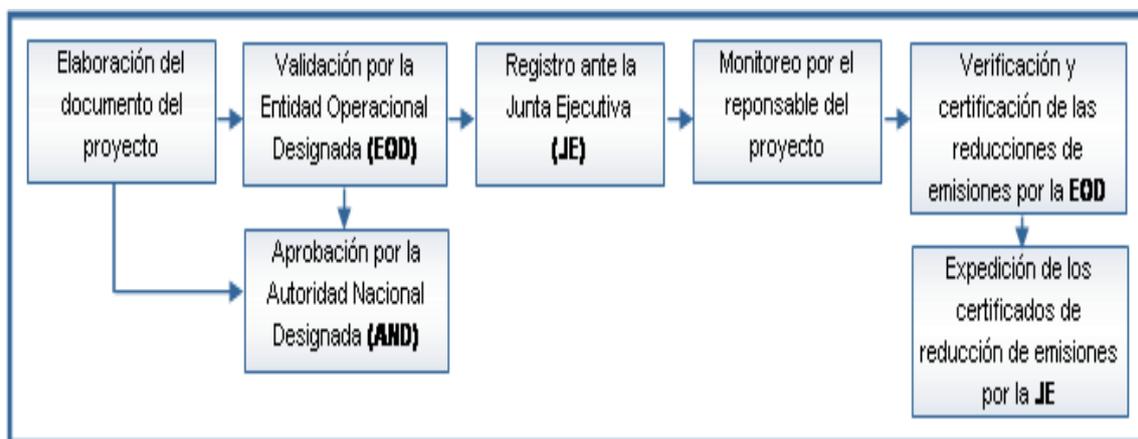
**Entidad Operacional Designada (EOD).** Es una entidad independiente acreditada por la Junta Ejecutiva del MDL (JE) y designada por la Conferencia de las Partes para realizar la validación de proyectos MDL y su presentación a la JE para aprobación y registro, así como también para la verificación y certificación de las reducciones de emisiones de GEI que generen los proyectos.

**Junta Ejecutiva (JE).** Es el órgano encargado de la supervisión del funcionamiento del mecanismo MDL, y está sujeta a la autoridad de la Conferencia de las Partes (CP), en calidad de Reunión de las Partes (RP) del Protocolo de Kyoto.

**Implantación y Monitoreo:** Una vez que un proyecto MDL ha sido registrado por la JE, los participantes pueden proceder a su implantación. El monitoreo incluye la recopilación y archivo de todos los datos necesarios para medir o estimar las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) del proyecto MDL, de la base de referencia y cálculo de las reducciones de emisiones debidas al proyecto (PP).

**Verificación y certificación:** La verificación consiste en un examen independiente y periódico por una EOD de las reducciones de emisiones registradas; unida a la certificación escrita de la EOD confirmando las reducciones de emisiones durante un tiempo determinado.

#### PARTICIPACIÓN DE ENTIDADES EN UN PROYECTO MDL



**FIGURA A1.** Autor Ing. Yolanda Zeferino. Cuadro extraído de la tesis del autor: *Viabilidad técnico-económica de proyectos ambientales en instalaciones de PEMEX a través del mercado de bonos de carbono en el marco del Protocolo de Kyoto, 2006.*

**Expedición de las reducciones certificadas de emisiones (CER) por la Junta Ejecutiva del MDL.** El informe de certificación es, en sí mismo, una solicitud a la JE de expedición de las CER equivalentes a la cantidad verificada de reducciones de emisiones antropógenas por fuentes de los GEI.

#### b) Requisitos de elegibilidad que deben cumplirse en el MDL

**El País anfitrión** en donde se implanta el proyecto MDL debe haber ratificado el Protocolo de Kyoto, participar voluntariamente en la actividad del proyecto MDL (tanto el país participante como las entidades privadas o públicas autorizadas por él), y tener establecida una Autoridad Nacional Designada para el MDL.

En el caso de participación en el proyecto de **Países Anexo 1** se requiere cumplir, tener fijado en términos de toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub> el objetivo asumido por ese país en la ratificación del Protocolo de Kyoto.

Haber establecido un *Registro Nacional* en el cual se lleva la cuenta de todas las unidades generadas, asignadas y transferidas en el marco del Protocolo de Kyoto. A este registro será al que se lleven por parte de la Junta Ejecutiva, las CER's generadas por el proyecto MDL.

Disponer de un *Sistema Nacional para la estimación de emisiones* y haber entregado, en su debido tiempo, el último y más reciente *inventario de emisiones*.

**Adicionalidad.** Este es un requisito básico para cualquier proyecto MDL. Para ser consideradas adicionales, sus emisiones de GEI deben ser menores que las emisiones que hubieran ocurrido en ausencia del mismo; además, debe demostrarse que el proyecto no se habría implementado en ausencia del MDL.

“El propósito de la prueba de adicionalidad es cerciorarse de que los proyectos que reciban créditos no se hubieran construido en los alternativas inerciales o habituales (BAU). Si el proyecto se hubiera desarrollado en cualquier caso, no se reducirían las emisiones por debajo de la base de referencia y, por lo tanto, no se justificaría la generación de CER”<sup>19</sup>.

Se pueden considerar los siguientes aspectos para ayudar a demostrar la adicionalidad de un proyecto MDL:

*De Inversión:* Considerar si existe una alternativa más viable financieramente que el proyecto MDL pero que conduce a mayores emisiones

*Tecnológicas:* Observar si la tecnología convencional conduce a mayores emisiones.

*Alternativas inerciales (BAU):* Las regulaciones, o los requerimientos políticos podrían llevar a la implantación de una tecnología con mayores emisiones que los del proyecto MDL.

---

<sup>19</sup> Guía Latinoamericana para Proyectos MDL publicada por la SEMARNAT. Capítulo 3.

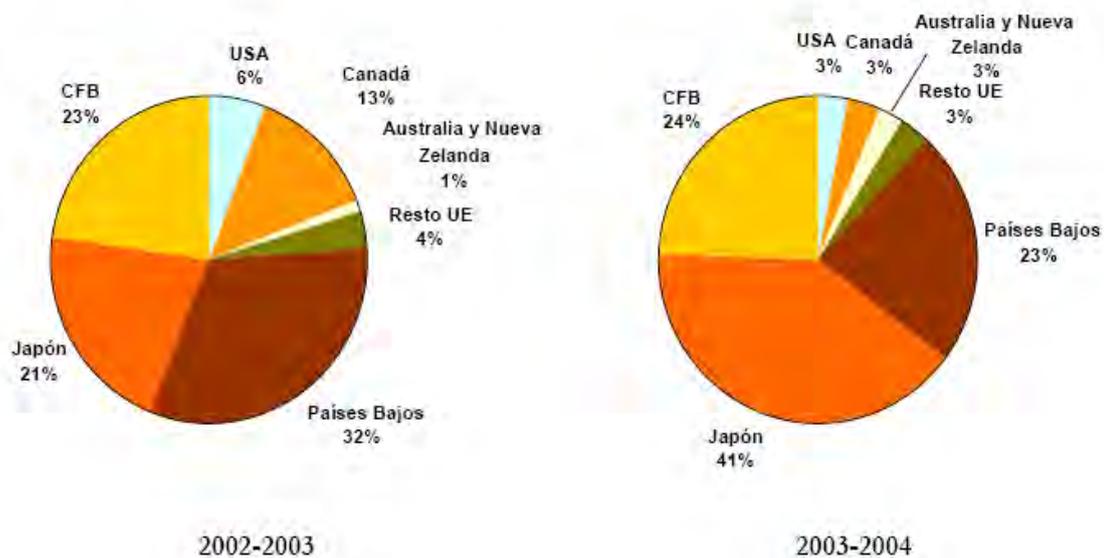
Otras barreras: Barreras institucionales, de información limitada, escasos recursos directivos, poca capacidad organizativa, pocos recursos financieros, o poca capacidad para asimilar nuevas tecnologías.

**c) Certificados de Reducción de Emisiones (CER's)**

La Junta Ejecutiva regula los procedimientos por medio de los cuales un proyecto puede participar en el MDL con el cual genera reducciones certificadas de emisiones.

Los CER's o bonos de carbono encuentran compradores en un mercado creado a partir de las disposiciones impuestas por el PK a partir de sus mecanismos flexibles ya establecidos. Este mercado se ha desarrollado con bastante rapidez durante los años 2003 y 2004 y se debe al interés que tienen ciertos países desarrollados por adquirir los CER.

**DEMANDA DE CER' S EN EL MERCADO INTERNACIONAL DE CARBONO**



**FIGURA C1. Demanda de CER' s en el Mercado Internacional de Carbono FUENTE: Banco Mundial/2004, "State and Trends of the Carbon Market 2004"**

El total de  $tCO_2e$ <sup>20</sup> negociado en el año 2003, fue de 78 millones, mientras que en la primera parte del 2004 se alcanzaron los 64 millones de toneladas. En la FIGURA C1 se pueden ver por parte de que países se dio la demanda de CER's.

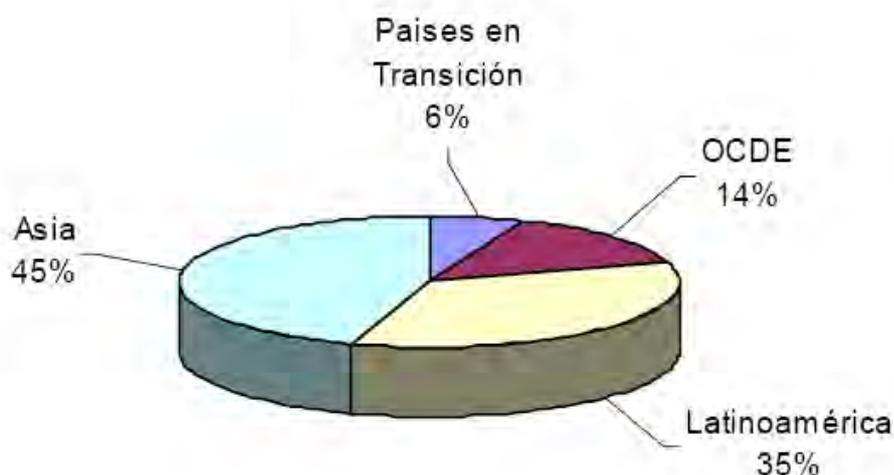
#### d) Situación actual de Proyectos MDL a nivel mundial

Para el 2005, 126 actividades de proyectos MDL en distintas fases del ciclo de proyecto (desde la validación hasta el registro) se han identificado.

Los proyectos MDL se están desarrollando en alrededor de 40 países, en distintas áreas geográficas, siendo Asia y Latinoamérica las regiones más representativas.

En Latinoamérica se llevan a cabo 82 proyectos en varias fases de desarrollo. En Asia hay 40 proyectos y éstos aunque son en menor número tienen la mayor contribución de CER's negociadas en los mercados, aproximadamente 45%, en tanto que Latinoamérica solo se dan en un 35% y los países en Transición y de la OCDE contribuyen con el 20%.

#### VOLUMEN DE VENTAS DE CER POR REGIONES – 2004



**FIGURA D1. Volumen de Ventas de CER por Regiones – 2004. State and Trends of the Carbon Market 2005, Banco Mundial. FUENTE: Guía Latinoamericana para Proyectos MDL publicada por la SEMARNAT**

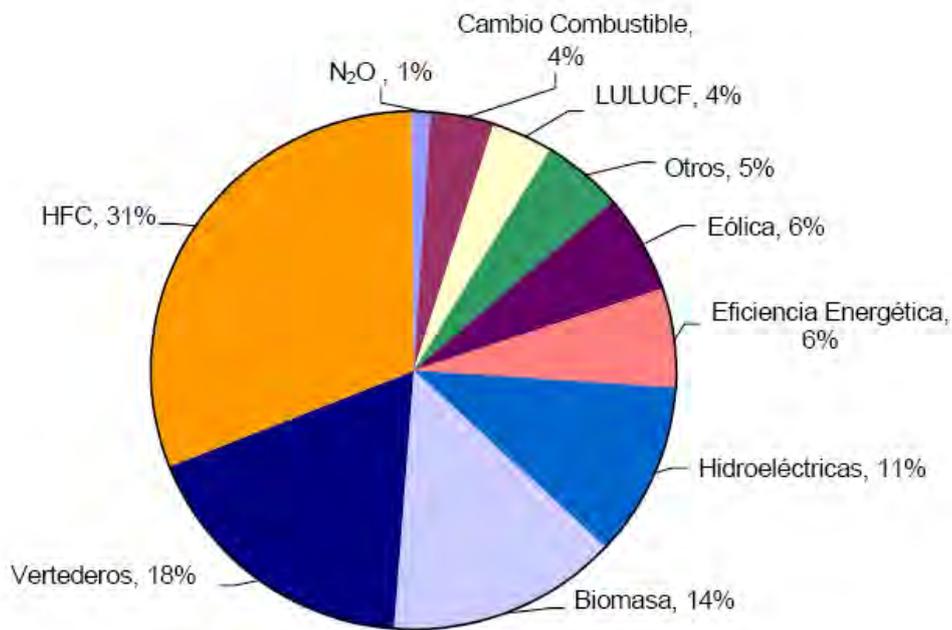
<sup>20</sup> Toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, significa que una tonelada de metano equivale a 23 toneladas de dióxido de carbono y una tonelada de óxido nitroso equivale a 310 toneladas de dióxido de carbono, así cada gas de efecto invernadero tiene su equivalencia dependiendo de su factor de absorción infrarroja. El total de tCO<sub>2</sub> esta compuesto por la suma de las emisiones de todos los gases de efecto invernadero multiplicados por su factor potencial de calentamiento.

Por lo tanto en el mercado de CER's existen pocos oferentes de los cuales 10 países concentran el 80% del total. La India, Chile y Brasil son los países que abarcan más del 50% (FIGURA D1).

Los tipos de proyectos propuestos son representados en la FIGURA D2 y abarcan diversas tecnologías de reducción de emisiones de GEI, las cuales incluyen CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, y HFC's.

Se nota que los proyectos de destrucción de HFC son los que predominan ya que el costo de reducción por tCO<sub>2</sub>e en este tipo de proyectos es mucho menor debido a su gran potencial de calentamiento. También imperaron los proyectos de captura de metano y N<sub>2</sub>O de residuos animales.

**PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DE EMISIONES POR TIPO DE PROYECTO  
- 2004**



**FIGURA D2. Porcentaje de Reducción de Emisiones por Tipo de Proyecto - 2004**

**FUENTE: Guía Latinoamericana para Proyectos MDL publicada por la SEMARNAT**

## CONCLUSIONES

Aunque la mayor contribución del hombre al aumento de los gases de efecto invernadero se dio a partir de la Revolución Industrial, cabe destacar que el deterioro de los ecosistemas, en especial la tala de los bosques, es uno de los factores de riesgo a considerar, puesto que la cantidad de absorción y eliminación natural de CO<sub>2</sub> se ve disminuida de manera importante.

Aunado a esto el incremento de la población mundial requiere de mayor producción de energía, que hasta ahora se basa en su mayor parte en la quema de combustibles fósiles que incrementan los GEI. También requiere un aumento importante en el ganado para satisfacer las necesidades alimenticias, lo que trae consigo emisiones de metano y óxido nitroso debido a los desechos de estos animales.

La comprensión de las causas del calentamiento global son importantes dado que así el hombre puede tomar las medidas necesarias para disminuir dicho proceso, aunque si se dejará actualmente de alterar la composición de los gases de invernadero tomaría décadas para la restauración, sin embargo si no se llevan a cabo dichas medidas son inimaginables las consecuencias para la vida en la tierra en un futuro muy próximo.

Gracias al Protocolo de Kyoto se establecieron diversos mecanismos flexibles con los cuales las naciones obligadas a disminuir sus concentraciones de GEI pueden conseguirlo.

Con la puesta en marcha de los proyectos MDL, que son apoyados por las naciones capitalistas en mayor nivel responsables del calentamiento global, se abren oportunidades para los países subdesarrollados en la adquisición de nuevas tecnologías, de las cuales la generación eléctrica y el tratamiento de residuos animales son los principales por su consecuente disminución de gases de efecto invernadero.



# Capítulo 2

## **BIODIGESTORES**



## **Capítulo 2. BIODIGESTORES**

### **Introducción.**

Los residuos sólidos orgánicos son un gran problema ya que éstos no son tratados, y la mayoría de las veces su descomposición se da al aire libre, sobre todo los excrementos animales. Así estos desechos liberan gases como metano, dióxido de carbono, óxido nitroso, entre otros, los cuales ya hemos visto que aumentan los gases de efecto invernadero. Pero también es de tomarse en cuenta que contaminan las fuentes de agua subterránea debido al lavado del suelo por la filtración de agua (lixiviación) y también porque favorece la generación de patógenos.

En este capítulo se conocerá como los residuos orgánicos al ser introducidos en el biodigestor son descompuestos y de este modo las basuras orgánicas se convierten en fertilizante y biogás.

Se analizará el proceso de digestión anaeróbica de la materia orgánica, que se lleva a cabo adentro del biodigestor.

Se advertirá como se obtiene el biogás y cuál es la mezcla de gases que lo componen, así como sus posibles y variados usos. La purificación del metano en especial dentro del biogás es un caso que nos importa, ya que es un gas combustible que su aprovechamiento nos lleva a la producción de energía eléctrica.

Se explicará con que desechos animales se obtiene la mayor producción de biogás y por lo tanto mayor generación de electricidad.

Otro subproducto del biodigestor que también es importante considerar es el lodo residual usado en la agricultura como fertilizante por su gran contenido de nutrientes.

Se hará énfasis en la producción de  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$  y  $\text{N}_2\text{O}$  con y sin tratamiento de excretas

Existen diferentes tipos de biodigestores que se han desarrollado en el mundo de los cuales su puesta en marcha depende de diversos factores que se estudiarán al final del capítulo.

## 2.1 ¿Qué es un biodigestor?

Un biodigestor es un contenedor que a través de un proceso de biodigestión<sup>21</sup> un grupo de microorganismos bacterianos anaeróbicos<sup>22</sup>, convierte a partir de material orgánico, principalmente excrementos (animales y humanos), en una mezcla de gases (con alto contenido de metano) al cuál se le llama biogás y un lodo residual con un alto grado de concentración de nutrientes el cual es usado como fertilizante.

Un biodigestor que es un recipiente herméticamente sellado, puede ser construido con diversos materiales como ladrillo y cemento, metal o plástico. Se los construye bajo tierra preferentemente o sobre nivel.

Los materiales que ingresan y abandonan el biodigestor se denominan afluente y efluente respectivamente.

Dentro del biodigestor los materiales orgánicos se diluyen con agua (la proporción es aproximadamente la misma cantidad que el material orgánico, de preferencia orina) y se ponen a fermentar durante un tiempo aproximado de 25 a 30 días.

El sistema está constituido por:

- ❖ Tubo de admisión de afluente. Ducto de entrada a través del cual se suministra la materia orgánica (por ejemplo, estiércol animal producto del lavado de instalaciones) de la excreta mezclada con agua u orina.
- ❖ Fosa de separación sólidos gruesos.
- ❖ Fermentador (Cámara digestión). Se lleva a cabo el proceso de digestión anaeróbica.
- ❖ Bolsa de almacenamiento (Domo). Almacenamiento de biogás.
- ❖ Tubo del efluente. Ducto de salida en el cual el material ya digerido por acción bacteriana (lodo residual), abandona el biodigestor.
- ❖ Tubo de metano. Salida del biogás.

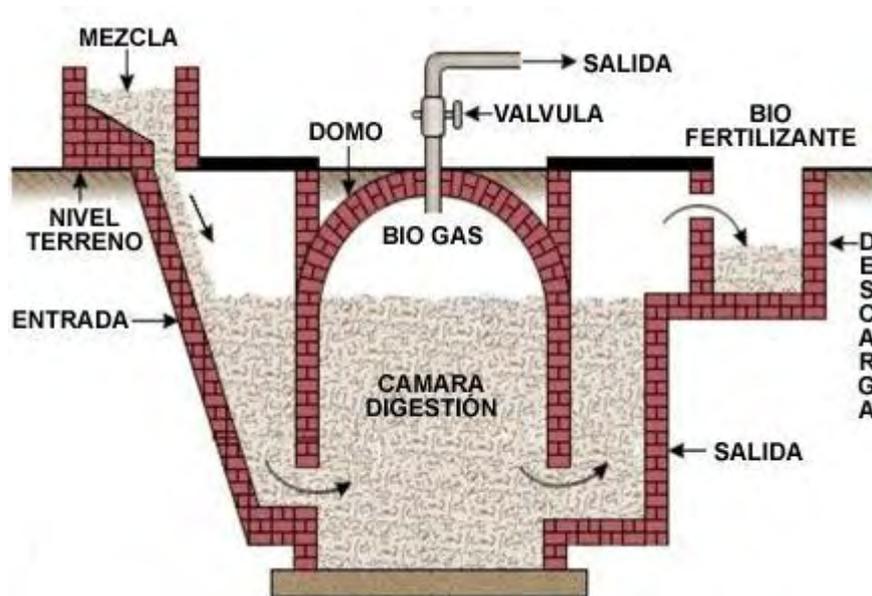
---

<sup>21</sup> Proceso de degradación de la materia orgánica.

<sup>22</sup> Se referirá acerca de estos microorganismos anaeróbicos en la parte de digestión anaeróbica.

- ❖ Dispositivo de seguridad: este se utiliza para prevenir la ruptura del fermentador debido a presiones altas de la fermentación anaeróbica de los desechos.
- ❖ Tubo de limpieza: el lodo que se sedimenta en el fondo del biodigestor debe ser removido cada dos años por bombeo.
- ❖ Cámaras de y postratamiento, (filtros y secado, entre otros) a la salida del reactor.
- ❖ Puede incluir bombas de absorción y mezclado.

### ESTRUCTURA DE UN BIODIGESTOR



**FIGURA 2.1 Biodigestor. FUENTE: Biodigestores**  
Una alternativa a la autosuficiencia energética y de biofertilizantes. Colombia.

Existen biodigestores de Ciclo Completo Terminal y de operación continua. En los primeros de fácil construcción, se carga el sistema y se deja que se produzca la digestión, se usa el gas y se retira el efluente como biofertilizante. Luego se los vuelve a cargar y así sucesivamente. Hay lugares que tienen hasta 3 interconectados en su sistema de salida de gas haciendo cíclico su uso. En un biodigestor de Operación Continua se va cargando constantemente y retirando el material ya digerido como efluente y a su vez se los mueve internamente.

### 2.1.1 Digestión anaeróbica

La digestión anaeróbica es un proceso biológico que en ausencia de oxígeno un determinado tipo de bacterias transforman cualquier sustancia orgánica en biogás, una mezcla constituida principalmente por metano y dióxido de carbono. La fermentación anaeróbica involucra a un complejo número de microorganismos de distinto tipo los cuales pueden ser divididos en tres grandes grupos principales:

#### Fase de *Hidrólisis*

En esta primera etapa se da una licuefacción<sup>27</sup> por medio de enzimas<sup>28</sup> de los compuestos de alto peso molecular. Las bacterias fermentativas, rompen las cadenas largas de estructuras carbonadas de la materia orgánica, transformándolas en cadenas cortas y simples. Se libera en este proceso hidrógeno y dióxido de carbono

#### Fase de *Acidificación*

Se da una conversión bacteriana de los compuestos anteriores a otros de menor peso molecular. Formada por : Acidogénesis que se da por fermentación de los monómeros produciendo acetato, propionato, butirato, succinato, alcoholes, H<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>, y Acetogénesis por fermentación secundaria generando acetato, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>.

#### Fase *Metanogénica*

Conversión bacteriana final de los compuestos anteriores a metano y dióxido de carbono.

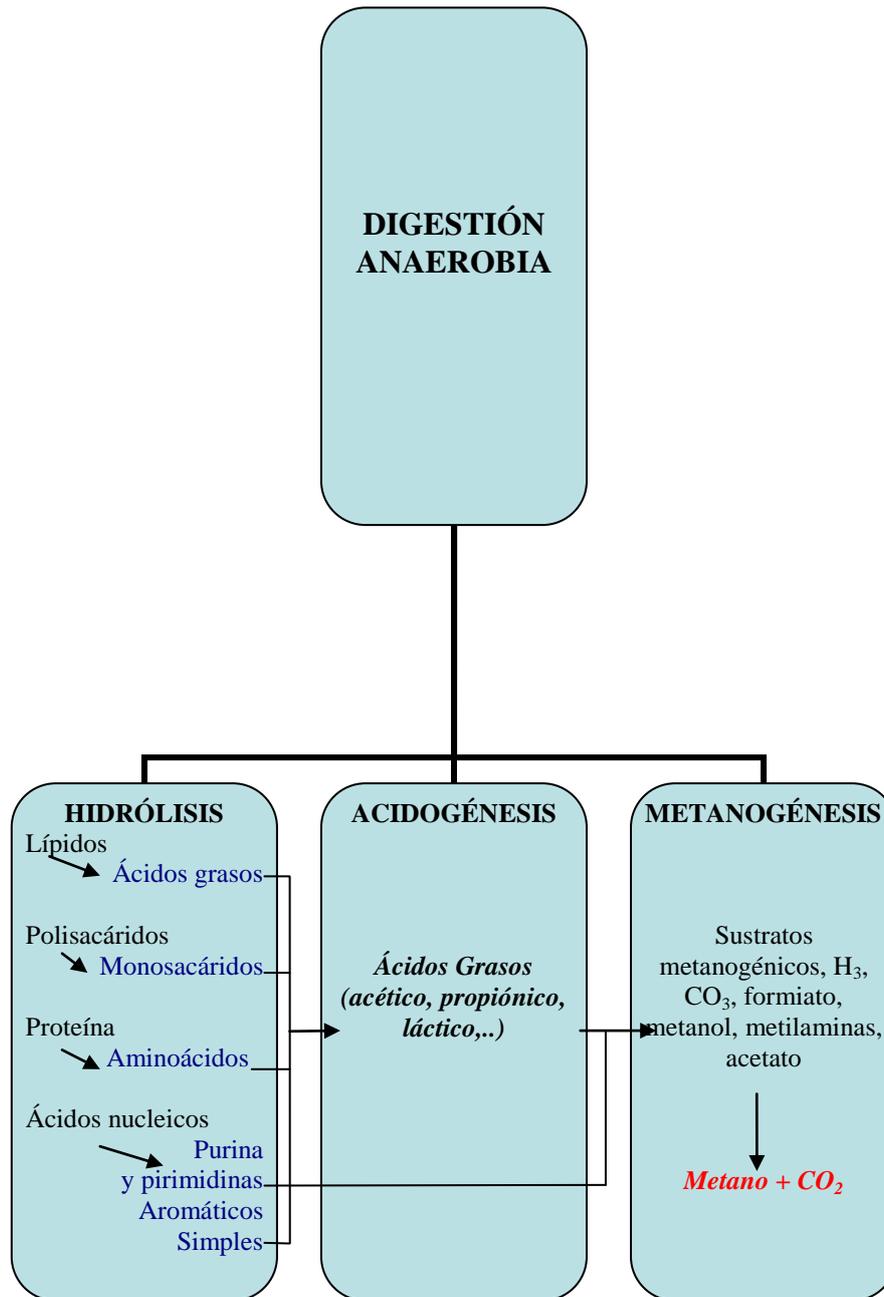
### DIGESTIÓN ANAERÓBICA

FASE ACIDOGÉNICA	FASE METANOGÉNICA
Bacterias facultativas (pueden vivir en presencia de bajos contenidos de oxígeno).	Bacterias anaeróbicas estrictas (No pueden vivir en presencia de oxígeno).
Reproducción muy rápida (alta tasa reproductiva).	Reproducción lenta (baja tasa reproductiva).
Poco sensibles a los cambios de acidez y temperatura.	Muy sensibles a los cambios de acidez y temperatura.
Principales metabolitos, ácidos orgánicos.	Principales productos finales, metano y CO <sub>2</sub>

**TABLA 2.1 Digestión Anaeróbica FUENTE:** <http://www.textoscientificos.com/energia/biogas>

<sup>27</sup> Licuefacción de los gases o licuación es el cambio de estado que ocurre cuando una sustancia pasa del estado gaseoso al líquido, por acción de la temperatura y el aumento de presión, llegando a una sobrepresión elevada.

<sup>28</sup> Las enzimas son proteínas que ayudan a que las reacciones químicas ocurran con mayor rapidez.



**FIGURA 2.2 Fases Digestión Anaerobia. Elaboración propia a partir de Obtención de Biogás mediante la Fermentación Anaerobia de Residuos Alimentarios. Alfredo Rodrigo Señer. Madrid 9 de Marzo 2005.**

La fase metanogénica es la etapa crítica e importante, ya que las bacterias son sensibles al cambio de PH<sup>29</sup> y de temperatura, lo cual significará una pérdida importante en la producción de gas.

<sup>29</sup> Nivel de acidez. El PH debe mantenerse entre 6.2 y 8 en la fase metanogénica ya que fuera de este intervalo se paraliza la acción bacteriana.

### 2.1.2 Biogás

El biogás, producto de la digestión anaeróbica, es un gas combustible que se genera en medios naturales o en dispositivos específicos (biodigestores). Depende de las características de la materia orgánica como: la cantidad, el tipo de sustrato<sup>30</sup>, los nutrientes, la temperatura, la carga, el tiempo de retención, el mezclado y además se debe tomar en cuenta los inhibidores posibles<sup>31</sup>.

La mezcla que compone al Biogás está constituida por metano, dióxido de carbono y contiene pequeñas proporciones de otros gases como hidrógeno, nitrógeno y sulfuro de hidrógeno, como se puede observar en el la Tabla 2.2

COMPOSICIÓN DE BIOGAS	
Gas	%
Metano CH <sub>4</sub>	55- 70
Dioxido de carbono	35-40
Hidrogeno	1-3
Nitrógeno	0,5-3
Sulfuro de hidrógeno	0.1
Vapor de agua	trazas

**TABLA 2.2 Composición Biogás. FUENTE: Revista Claridades Agropecuarias # 168.**

El principal componente del biogás es el metano, que le otorga la característica de combustible. “El valor energético del biogás por lo tanto estará determinado por la concentración de metano, y normalmente se encuentra alrededor de 20 y 25 MJ/m<sup>3</sup>, comparado con 33 a 38 MJ/m<sup>3</sup> para el gas natural”.<sup>32</sup>

<sup>30</sup> El sustrato es cualquier sustancia orgánica o inorgánica sobre las que actúan las enzimas produciendo su modificación en productos finales de la reacción.

<sup>31</sup> La presencia de metales pesados, antibióticos y detergentes en determinadas concentraciones pueden inhibir e incluso interrumpir el proceso fermentativo.

<sup>32</sup> Estrategias para el aprovechamiento de desechos porcinos en la agricultura. Francisco J. Cervantes

Es importante señalar que para generar una mayor cantidad de biogás en los biodigestores se recomienda tratar el estiércol de bovinos y porcinos, como se nota en la Tabla 2.3.

#### VALORES DE GENERACIÓN DE BIOGÁS SEGÚN DIFERENTES SUSTRATOS

SUSTRATO	GENERACION DE GAS (L/Kg. Biomasa seca)	PROMEDIO (L/Kg. Biomasa seca)
Excreta de Porcino	340 - 550	450
Excreta de vacuno	150 - 350	250
Excreta de Aves	310 - 620	460
Excreta de caballo	200 - 350	250
Excreta de oveja	100 - 310	200
Bagazo	140 - 190	160
Desperdicios de verduras	300 - 400	350

*TABLA 2.3 Valores de generación de biogás según diferentes sustratos. FUENTE: OEKOTOP.*

#### 2.1.2.1 Principales usos del Biogás

El biogás puede ser utilizado en cualquier equipo comercial diseñado para uso con gas natural. Así puede por lo tanto sustituir a la electricidad, al gas propano y al diesel como fuente energética. Tabla 2.4

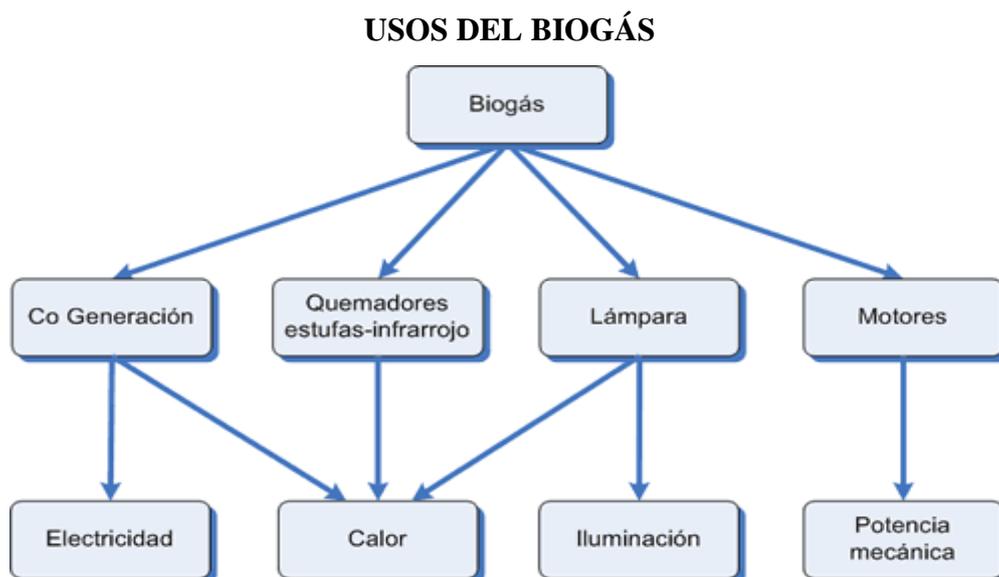
#### EQUIVALENCIA DEL BIOGÁS

COMBUSTIBLE	EQUIVALENCIA
Biogás	1 m <sup>3</sup> (60% de metano)
Gasolina	0.71 l
Diesel	0.55 l
Gas licuado de Petróleo	0.45 l

*TABLA 2.4 Equivalencia del biogás a otros combustibles. FUENTE: Revista Claridades Agropecuarias # 168.*

En muchas zonas rurales donde no existen líneas eléctricas, éste puede llegar a ser una gran fuente de energía, también en granjas y en comunidades lejanas a las grandes urbes, puesto que sus usos son muy variados, tales como:

- ✚ Uso en *cocinas y calentadores*; el paso de gas en los quemadores es variable usando una válvula.
- ✚ *Lámpara. a gas*; cuya eficiencia es muy baja y se calientan demasiado.
- ✚ *Refrigeradores*; constituyen un interesante campo de aplicación directo del biogás debido a que tienen un consumo parejo y distribuido a lo largo de las 24 horas del día lo cual minimiza la necesidad de almacenaje del gas.
- ✚ *Calefacción de ambientes* (criaderos); alta eficiencia y mínimo consumo de gas para un determinado requerimiento térmico.
- ✚ Para *generar energía eléctrica*; se alimenta a un motor diesel o de tipo rotativo conectado a un generador.
- ✚ *Aplicaciones térmicas*; el gas es inyectado a un quemador que puede ser incorporado a calderas, hornos y secadoras.



**FIGURA 2.3 Usos Del Biogás. FUENTE:** <http://www.textoscientificos.com/energia/biogas>

## ESQUEMA DE FLUJO DE UNA PLANTA DE BIOGÁS

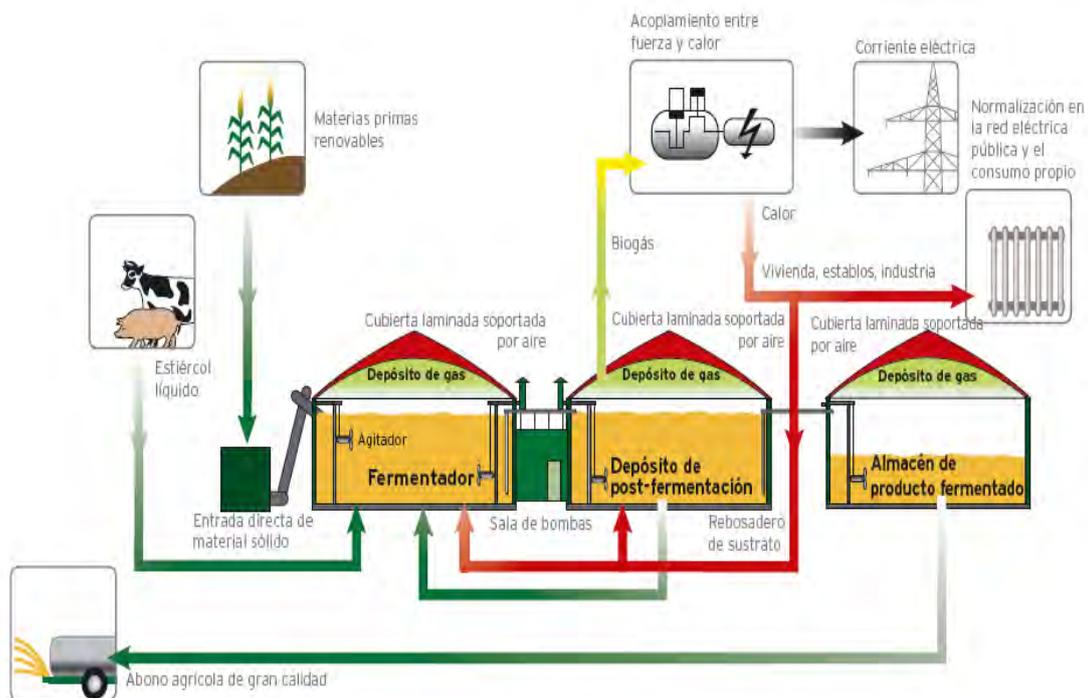


FIGURA 2.4 Planta De Biogás. FUENTE: Mt-Biomethan.

### 2.1.2.2 Generación de Energía Eléctrica

Los motores a biogás tienen un campo de aplicación variado, el más usual es el bombeo de agua, y el funcionamiento de ordeñadoras en el área rural. El otro uso muy generalizado es su empleo para activar generadores de electricidad (motogeneradores).

“En el caso de los motores diesel, el biogás puede reemplazar hasta el 80% del diesel (la baja capacidad de ignición del biogás no permite reemplazar la totalidad del diesel en este tipo de motores que carecen de bujía para la combustión). En los motores a gasolina el biogás puede reemplazar la totalidad de la misma”<sup>33</sup>.

El biogás es conducido por tubería hacia los motores. Se realizan los ajustes necesarios para que el biogás ingrese al interior del filtro de aire, de tal manera que el motor al aspirar el aire que requiere para la combustión del diesel, aspire una mezcla de biogás-aire.

<sup>33</sup> Estrategias para el aprovechamiento de desechos porcinos en la agricultura. Francisco J. Cervantes.

En los motores de Ciclo Otto el carburador convencional es reemplazado por un mezclador de gases. Estos motores son arrancados con gasolina y luego siguen funcionando con un 100% de biogás con una merma de la potencia máxima del 20% al 30%.

A los motores de Ciclo Diesel se les agrega un mezclador de gases con un sistema de control manteniendo el sistema de inyección convencional. De esta manera estos motores pueden funcionar con distintas proporciones de biogás y diesel y pueden convertirse fácil y rápidamente de un combustible a otro lo cual los hace muy confiables.

### **MOTOGENERADOR ELÉCTRICO ALIMENTADO CON BIOGÁS**



**FIGURA 2.5** *Motogenerador Eléctrico Alimentado Con Biogás. FUENTE: Revista Claridades Agropecuarias # 168.*

En la *cogeneración* la potencia mecánica provista por el eje del motor es aprovechada para generar electricidad a través de un generador. Simultáneamente y por medio de una serie de intercambiadores de calor ubicados en los sistemas de refrigeración (agua y aceite) del motor y en la salida de los gases de escape, se recupera la energía térmica liberada en la combustión interna. De este modo se logra un mejor aprovechamiento de la energía.

### 2.1.2.3 Limpieza del Biogás

Para poder usar el biogás se necesita llevar a cabo una depuración del mismo para obtener una calidad de gas natural. El proceso clave dentro de la tecnología del biogás es la mayor obtención de metano posible.

El  $\text{H}_2\text{S}$  <sup>[34]</sup> y el  $\text{CO}_2$  se conocen como gases ácidos, porque en presencia de agua forman ácidos, y un gas natural que posea estos contaminantes se conoce como gas agrio.

Entre los problemas que estos gases ácidos pueden generar se pueden mencionar:

- Toxicidad del  $\text{H}_2\text{S}$ .
- La proporción de  $\text{H}_2\text{S}$  en el biogás causa deterioros en las válvulas de admisión y de escape de determinados motores obligando a un cambio más frecuente de los aceites lubricantes.
- En la combustión se puede formar  $\text{SO}_2$  (dióxido de azufre) que es también altamente tóxico y corrosivo.
- Disminución del poder calorífico del gas.

“Con el fin de eliminar o disminuir el porcentaje de  $\text{H}_2\text{S}$  en el biogás se emplean sistemas de filtro con sustancias como cal viva o pagada, limadura de hierro o ciertos tipos de tierras conocidas como hematites parda o limonita, las cuales son ricas en sustancias ferrosas”<sup>35</sup>.

Los procesos que se aplican para remover  $\text{H}_2\text{S}$  y  $\text{CO}_2$  se pueden agrupar en cinco categorías de acuerdo a su tipo y pueden ser sencillos o complejos dependiendo de si es necesario recuperar o no los gases removidos y el material usado para removerlos. En algunos casos no hay regeneración con recobro de azufre y en otros sí.

---

<sup>34</sup> El ácido sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) es un ácido inorgánico formado por la disolución y disociación en agua del sulfuro de hidrógeno. En estado gaseoso se le conoce con el nombre de sulfuro de hidrógeno.

<sup>35</sup> Muche y Zimmermann 1985

## ESQUEMA FUNCIONAL DE LA TECNOLOGÍA DE PREPARACIÓN DEL GAS

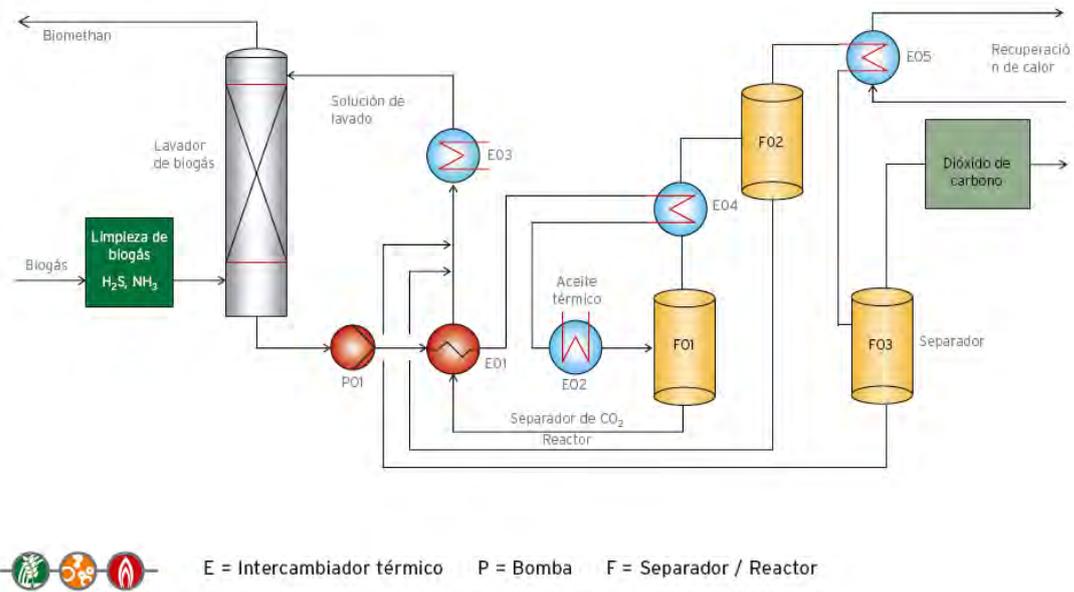


FIGURA 2.6 Tecnología De Tratamiento De Biogás. FUENTE: Mt-Biomethan.

Las cinco categorías son:

- *Absorción química.* (Procesos con aminas y carbonato de potasio). La regeneración se hace con incremento de temperatura y decremento de presión.

- *Absorción Física.* La regeneración no requiere calor.

- *Híbridos.* Utiliza una mezcla de solventes químicos y físicos. El objetivo es aprovechar las ventajas de los absorbentes químicos en cuanto a capacidad para remover los gases ácidos y de los absorbentes físicos en cuanto a bajos requerimientos de calor para regeneración.

- *Procesos de conversión directa.* El  $H_2S$  es convertido directamente a azufre.

- *Procesos de lecho seco.* El gas agrio se pone en contacto con un sólido que tiene afinidad por los gases ácidos. Se conocen también como procesos de adsorción.

### 2.1.3 Lodos Residuales

El efluente del biodigestor es un material rico en nutrientes (amonio, fósforo, potasio, etc.) siendo un excelente fertilizador del suelo, usado además como un aditivo seco.

En el proceso de fermentación se remueven sólo los gases generados ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ) que representan 40% del volumen total del material de carga. Se conservan en el efluente todos los nutrientes originales (Nitrógeno, fósforo, potasio) contenidos en la materia prima, que son esenciales para las plantas. Lo anterior lo convierte en un valioso abono orgánico, prácticamente libre de olores, patógenos, y de fácil aplicación.

El efluente lleva parte de sus nutrientes en forma no disponible de inmediato para las plantas, es decir, los libera paulatinamente mediante ciertos procesos de descomposición de materia orgánica. De esta forma, la nutrición es lenta pero continua.

Las cualidades del uso del lodo residual radican en los beneficios obtenidos como son:

- Aumenta el contenido del humus<sup>36</sup> del suelo, el cuál mejora la estructura y la textura del terreno.
- Facilita la aireación, y la capacidad de retención e infiltración del agua.
- Permite el ahorro de la cantidad de otros abonos convencionales sin disminución de la producción.
- Presenta incrementos de la producción, al compararla con la de suelos no abonados.

---

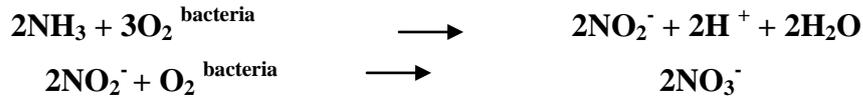
<sup>36</sup> Retiene el agua e impide la erosión, sirviendo también como lugar de almacenamiento de sustancias nutritivas.

**2.1.3.1 Consideraciones del Nitrógeno contenido en la excreta.**

Los residuos de los cerdos comienzan a descomponerse inmediatamente después de haber sido excretados. Las heces de animales contienen cantidades apreciables de no asimiladas proteínas como el nitrógeno orgánico. Éstas son convertidas en gran medida a amoníaco por acción de una bacteria heterotrófica bajo condiciones aeróbicas o anaeróbicas:



El amoníaco liberado por acción bacteriana puede ser usado directamente por las plantas. Si se libera en exceso del requerimiento de las plantas, este exceso es oxidado por nitrificación autotrófica bacteriana. El grupo de Nitrosomonas, conocido como formadores de nitrito, convierten el amoníaco bajo condiciones aeróbicas a nitritos por oxidación:



Así los nitratos formados pueden servir como fertilizantes para las plantas, pero si se producen en exceso se filtran hacia los mantos acuíferos ya que la tierra no puede soportarlos, lo que resulta en altas concentraciones de nitrógeno en los pozos o aguas profundas.

“Bajo condiciones anaeróbicas los nitratos y nitritos son reducidos por un proceso llamado desnitrificación. La reducción de nitritos se lleva a cabo por unas pocas bacterias y se obtiene amoníaco, y si se mantiene en estas condiciones se lleva la reducción a nitrógeno. Se tiene una reducción de nitratos y formación de gas nitrógeno”<sup>37</sup>



<sup>37</sup> Chemistry For Environmental Engineering, Sawyer/McCarty/Parkin.

#### 2.1.4 Gases liberados por la excreta sin tratar y con uso del biodigestor.

La exposición y el tratamiento de excretas sólidas y orina, lleva consigo una serie de procesos químicos, como se ha analizado, en los cuáles los gases formados son de interés particular.

“La descomposición aeróbica, ocurre en las capas superficiales de la materia orgánica, por acción de bacterias aeróbicas, entre ellas *Micrococcus ureae*, que transforma la urea ( $\text{NH}_2\text{CONH}_2$ ) en carbonato de amonio ( $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ ), el que por acción de otros organismos se transforma en anhídrido carbónico ( $\text{CO}_2$ ), amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), óxidos de azufre ( $\text{SO}_2$ ) y óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ )”<sup>[38]</sup>.

La descomposición microbiana puede generar compuestos volátiles que al alcanzar determinadas concentraciones pueden ser tóxicos. La fermentación se produce por medio de bacterias anaeróbicas en capas profundas, con elevación de temperatura en forma moderada. En este caso, los principales gases generados son anhídrido carbónico ( $\text{CO}_2$ ), amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), acompañado de gases reducidos, como el monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ), el metano ( $\text{CH}_4$ ) y el sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ); este último, responsable de los malos olores. El monóxido de carbono y el metano son los de menor efecto odorífero, pero en altas concentraciones, pueden ser letales.

En la tabla 2.5 se remarca la diferencia entre la producción que provoca la exposición de las excretas al aire libre y el tratamiento en el biodigestor, de los gases de efecto invernadero de interés: Metano, Dióxido de carbono y Oxido Nitroso.

En resumen se puede decir que cuando la degradación de las excretas se da al aire libre, además de formarse sólidos volátiles, los gases  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$  y  $\text{N}_2\text{O}$  se liberan incontroladamente a la atmósfera y por lo tanto aumentan la concentración de los gases de efecto invernadero

Si los desechos se introducen al biodigestor, bajo las condiciones adecuadas se lleva a cabo un proceso en el cuál hay una mayor producción de biogás.

---

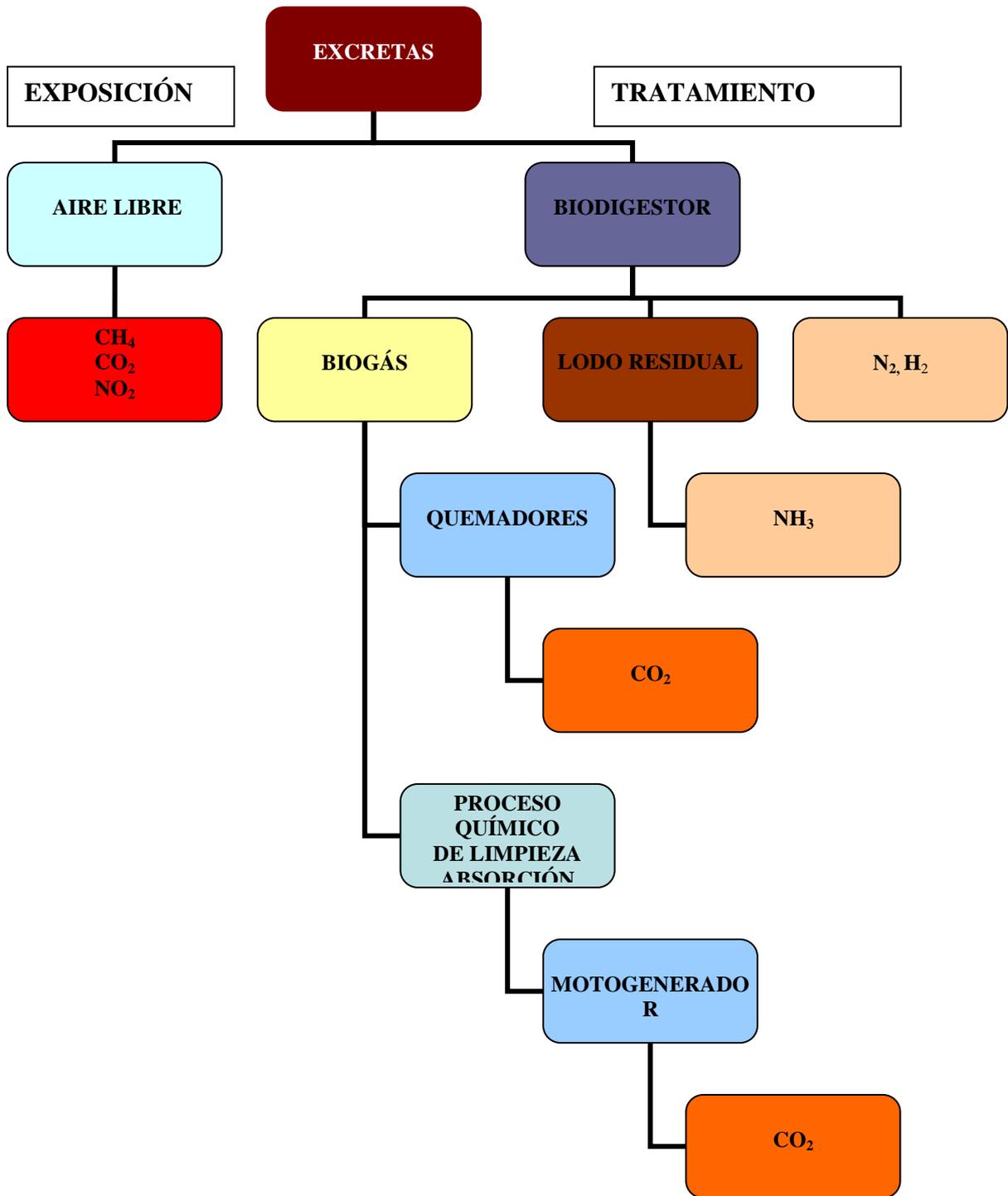
<sup>38</sup> Olores Y Vectores Generados En La Explotación Porcina. Alexis Araya C. José, María Peralta A.

Si el biogás es llevado a un quemador, el resultado es emisión de CO<sub>2</sub>, que es depositado en la atmósfera. Si se utiliza un motogenerador, el biogás debe pasar por un proceso de limpieza, el cuál por medios químicos absorbe el H<sub>2</sub>S y el CO<sub>2</sub>, así que ya no existe liberación de estos porque quedan contenidos en sustancias químicas formando otros elementos, así queda gas metano casi puro, que pasa al motogenerador. El CH<sub>4</sub> quemado en el motogenerador produce CO<sub>2</sub> y éste es liberado a la atmósfera. Esquema 1.

**EXPOSICIÓN Y TRATAMIENTO DE EXCRETAS**

<b>EXCRETA Y ORINA</b>	<b>METANO (CH<sub>4</sub>)</b>	<b>DIÓXIDO DE CARBONO (CO<sub>2</sub>)</b>	<b>ÓXIDO NITROSO (N<sub>2</sub>O)</b>
<b>EXPOSICIÓN AIRE LIBRE</b>	Liberado a la atmósfera	Liberado a la atmósfera	Liberado a la atmósfera
<b>TRATAMIENTO BIODIGESTORES</b>	Se genera una mayor cantidad de CH <sub>4</sub> que es quemado ó para producir energía y se obtiene una proporción menor de CO <sub>2</sub> que es liberado a la atmósfera	El biogás producido contiene CO <sub>2</sub> en una proporción de 25 a 30 %, el cual sí se mete a un Motogenerador debe ser retenido mediante procesos químicos de purificación, sí no se usa un Motogenerador se libera a la atmósfera.	De acuerdo a un proceso de desnitrificación de la excreta, se forma N <sub>2</sub> , el cuál es un gas estable y puede ser liberado a la atmósfera. El lodo residual contiene N.

*TABLA 2.5 Exposición y tratamiento de excretas. Elaboración propia.*



**FIGURA 2.7** Esquema Descomposición al Aire Libre y Tratamiento de Excretas  
Elaboración propia.

## 2.2 Tipos de biodigestores

Se han desarrollado alrededor de 70 variedades, dependiendo de las necesidades y recursos disponibles. Hay versiones muy básicas y artesanales hasta construcciones de

tipo industrial. Algunos modelos pueden requerir unos costos altos, dadas las posibles dificultades de su instalación y puesta en marcha.

Los factores que afectan el diseño y la operación son básicamente los siguientes:

❖ Capacidad del digestor.

Tiempo de residencia celular (de 30~60 días o de 10~20 días para los equipados con calefacción).

Carga volumétrica (Kg. SSV<sup>[39]</sup>/m<sup>3</sup>-d).

La población considerando un cierto volumen de reactor/hab.

Reducción de volumen observado en los SSV

Diseño y control del proceso:

❖ Control de la temperatura.

Entre 35 y 54°C para los rangos mesofílicos<sup>40</sup> y termofílicos<sup>41</sup>.

Calentamiento a través de intercambiadores de calor internos o externos o por inyección de vapor.

❖ Mezclado.

Mantiene activo el contacto entre la biomasa y los lodos.

Crea uniformidad física, química y biológica dispersando cualquier sustancia química o producto de la metabolización de la materia orgánica. Previene la formación de nata superficial

❖ Producción y utilización del gas.

❖ Cubierta del digestor.

❖ Características del lodo.

❖ Calidad del sobrenadante<sup>42</sup>.

❖ Calefacción y cubierta del digestor.

---

<sup>39</sup> Sólidos Suspendidos Volátiles.

<sup>40</sup> Microorganismo mesofílico, es aquel cuya temperatura óptima de crecimiento se encuentra entre los 20 y 37°C.

<sup>41</sup> Microorganismo termofílico, es aquel cuya temperatura óptima de crecimiento se encuentra por encima de los 50°C.

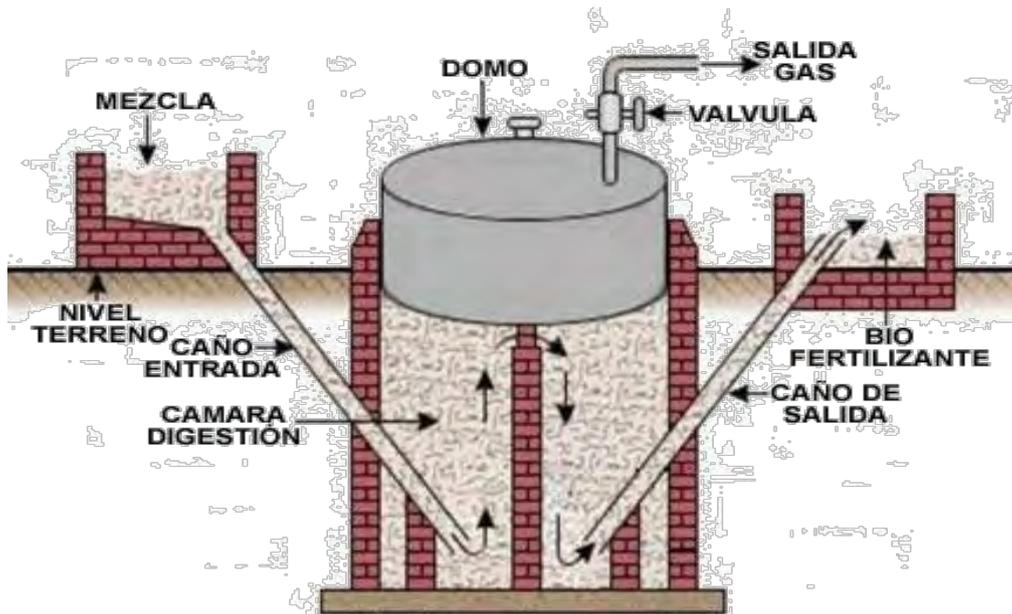
<sup>42</sup> Es la nata superficial que se forma sobre la mezcla dentro del biodigestor.

a) *Biodigestores de estructura fija:*

✚ **Biodigestor de domo flotante (Hindú)**

Este biodigestor se distingue por el uso de un domo flotante que es un tanque de almacenamiento en forma cilíndrica que asciende al aumentar la presión del gas que se encuentra adentro. Originalmente fue hecho de acero pero después reemplazado por fibra de vidrio reforzado en plástico para superar el problema de corrosión.

**BIODIGESTOR DE DOMO FLOTANTE TIPO HINDÚ**



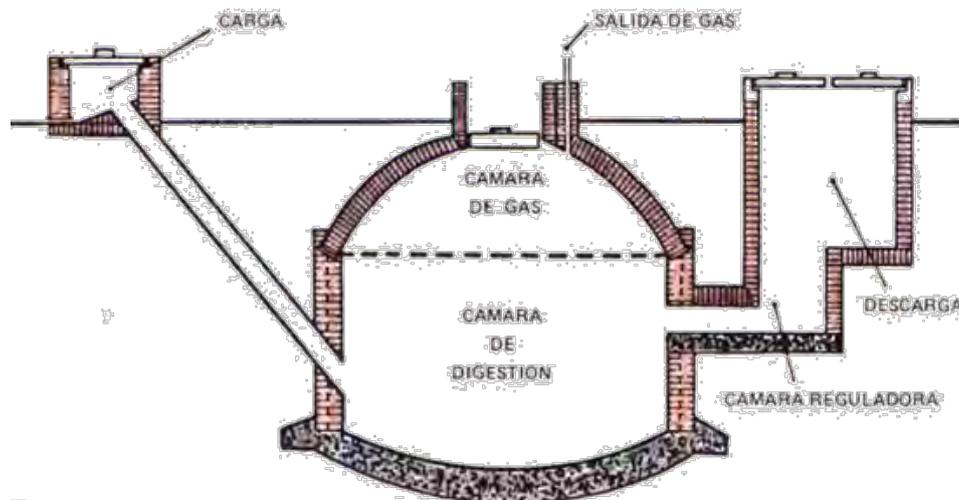
**FIGURA 2.8 Biodigestor De Domo Flotante Tipo Hindú**

**FUENTE:** *Biodigestores una alternativa a la autosuficiencia energética y de biofertilizantes. Colombia.*

La pared del reactor y el fondo pueden ser construidos normalmente de ladrillo, aunque a veces se usa refuerzo en hormigón. El reactor se alimenta semi-continuamente a través de una tubería de entrada.

Para permitir la entrada de la materia orgánica y la salida del biofertilizante se emplean dos tubos (de plástico, cerámica u otros) que conectan el tanque de almacenamiento con el de carga y descarga; también cuenta con tuberías, válvulas de corte y seguridad que garantizan el buen funcionamiento del biodigestor

### BIODIGESTOR TIPO CHINO



**FIGURA 2.9 BIODIGESTOR TIPO CHINO**

*FUENTE: Biodigestores una alternativa a la autosuficiencia energética y de biofertilizantes. Colombia.*

#### ✚ Biodigestor de domo fijo (Chino)

El diseño del tipo chino utiliza para el almacenamiento del biogás una cúpula fija unida al tanque de almacenamiento, que puede ser construida de ladrillos, piedra u hormigón. La cima y fondos son hemisféricos y son unidos por lados rectos. La superficie interior es sellada por muchas capas delgadas de mortero para hacerlo firme.

La tubería de la entrada es recta y extremos nivelados. Hay un tapón de la inspección a la cima del digestor que facilita el limpiado. Se guarda el gas producido durante la digestión bajo el domo

Se necesitan materiales de alta calidad y recursos humanos costosos para construir este tipo de biodigestor lo que le confiere una elevada vida útil (pueden llegar como promedio a 20 años), siempre que se realice un mantenimiento sistemático.

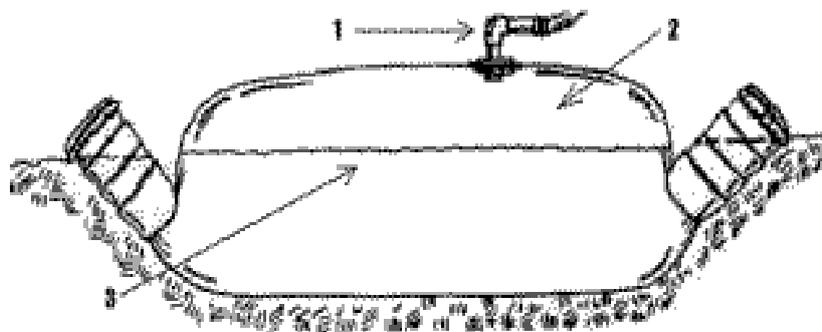
Funciona con presión variable ya que el objetivo no es producir gas sino el abono orgánico ya procesado.

### b) Biodigestores de estructura flexible

Son biodigestores de materiales flexibles más baratos. Inicialmente se usaron nylon y neopreno pero ellos demostraron ser relativamente costosos. Esto fue reemplazado después por polietileno menos costoso y es ahora el material más comúnmente usado en América Latina, Asia y África.

En este digestor el gas se acumula en la parte superior de la bolsa, parcialmente llena con Biomasa en fermentación; la bolsa se va inflando lentamente con una presión de operación baja, pues no se puede exceder la presión de trabajo de la misma. Figura 2.9

#### ESQUEMA DEL DIGESTOR DE POLIETILENO TIPO SACO.



1. Válvula de salida

2. Almacenamiento de biogás

3. Nivel del agua con materia orgánica

**FIGURA 2.10** Esquema Del Digestor De Polietileno Tipo Saco.

**FUENTE:** Análisis De Biodigestores Ing. Bárbaro Lugones López. Especialista De Cubaenergía.

Estos biodigestores pueden tener una durabilidad de 15 años, en el caso de presentarse rupturas de este pueden ser fácilmente reparadas del mismo material del biodigestor usando un adhesivo fuerte, la parte reparada debe permanecer seca hasta su endurecimiento por completo. Cuando se necesita el metano solo se ejerce una pequeña presión sobre la bolsa de almacenamiento moviendo de esta forma el biogás a donde se necesita.

**c) Biodigestores de alta velocidad o flujo inducido**

Se les conoce de ordinario como CSTD (Conventional Stirred Digestor). Generalmente trabajan a presión constante y se diferencian de los digestores convencionales en que se les ha agregado algún tipo de agitación mecánica, continua o intermitente, que permite al material aún no digerido, entrar en contacto con las bacterias activas y así obtener buena digestión de la materia orgánica, con tiempos de retención hidráulica relativamente cortos, de hasta 15 días.

**d) Biodigestores industriales**

En plantas industriales se produce a gran escala biogás y biofertilizante para su venta, por ello se necesita un gran volumen de materia orgánica para garantizar la producción.

En grandes estanques de recolección, fabricados de ladrillo y hormigón, se almacena el material orgánico y mediante sistemas de bombeo se lleva éste hacia los biodigestores, constituidos por enormes tanques de metal donde se almacena la materia orgánica y el biogás por separado.

Para evitar los malos olores se usan filtros que separan el gas sulfhídrico del biogás, además de utilizarse válvulas de corte y seguridad y tuberías para unir todo el sistema y hacerlo funcionar según las normas para este tipo de instalación.

### 2.3 Factores de riesgo

La construcción de biodigestores con lleva también una serie de inconvenientes que deben ser tomados en cuenta:

- ✓ Ubicación próxima a la zona donde se recoge el sustrato de partida y a la zona de consumo, tanto para acumular los desechos orgánicos como para abaratar los costes que supone la canalización del sistema.
- ✓ La temperatura debe ser constante y cercana a los 35° C, lo que puede encarecer el proceso de obtención en climas fríos.
- ✓ Puede generar como subproducto sulfuro de hidrógeno, un gas tóxico y corrosivo que puede además reducir la capacidad calorífica del biogás, encareciendo el proceso por la necesidad de depurarlo.
- ✓ Puede haber posibles riesgos de explosión, en caso de no cumplirse las normas de seguridad para gases combustibles.

## **CONCLUSIONES**

Los desechos orgánicos deben dejar de ser un problema que le preocupe a la humanidad para dar paso a la ocupación de éstos por medio de una gestión adecuada, los biodigestores.

La cadena de beneficios que representa el tratamiento del estiércol animal incluye disminuir gases de efecto invernadero, evitar contaminación ambiental de aguas y malos olores o criaderos de insectos y controlar los microorganismos capaces de generar enfermedades.

Aunado a esto, se produce biogás, que puede ser usado como combustible evitando así ocupar leña, contribuyendo a la disminución de la deforestación. El biogás debe purificarse para obtener un gas que no dañe al motogenerador en caso de que se use para generar energía eléctrica y térmica.

Además el lodo producido en el proceso genera un efluente rico en nutrientes como nitrógeno, fósforo, potasio o magnesio, que son aprovechados directamente por los agricultores.

Aunque existen diferentes tipos de biodigestores, la realización de éste depende de las condiciones del lugar en donde se va a colocar y es importante tomarlo en cuenta para evitar que los costos de construcción, operación y mantenimiento se eleven demasiado haciendo no viable dicho proyecto.

El polietileno ha permitido la expansión en la actualidad de los biodigestores, ya que es más cómodo de transportar en lugares distantes, más barato de construir y operar, conjuntamente de fácil reparación. Sin embargo se deben tomar todas las precauciones en cuanto a los factores de riesgo que puedan presentarse en el tiempo de vida del biodigestor.

Como se distinguió para obtener una mayor producción de biogás de debe usar estiércol de porcinos, es por ello que en los siguientes capítulos veremos como se pueden adaptar estos sistemas a cierto tipo de granjas porcinas que existen en México.

# Capítulo 3

## **GRANJAS PORCINAS CASO DE ESTUDIO**



### **Capítulo 3. GRANJAS PORCINAS. CASO DE ESTUDIO.**

#### **Introducción.**

El crecimiento de la porcicultura a nivel mundial se ha dado debido al aumento en las necesidades de satisfacción de alimentos y se llevó a cabo sin considerar, en ningún momento, los problemas ambientales que creaba.

En la porcicultura en México existe una fuerte concentración de la producción en regiones donde las unidades pequeñas son muy numerosas, éstas contaminan tanto como las grandes y generan, además, problemas de salud pública por sus condiciones antihigiénicas de manejo y por la presencia de cerdos no confinados.

La determinación del impacto ambiental de los desechos porcinos incluye, además de los efectos directos sobre los recursos agua, suelo y aire, factores de perturbación como olores y plagas de insectos, los efectos indirectos sociales, políticos e incluso estéticos que son imposibles de cuantificar.

Las excretas porcinas pueden ser tratadas como un residuo o como un insumo. Como residuo, existe una gran variedad de métodos para su tratamiento cuya finalidad es eliminar los contaminantes presentes en la descarga por medio de procesos físicos, químicos o biológicos o con una combinación de ellos, y obtener un efluente que pueda ser arrojado al ambiente sin causar daños. Como insumo se pueden considerar otros tratamientos como los biodigestores, ya analizados en el capítulo anterior, que nos ayudan a obtener beneficios económicos y medio ambientales.

En éste capítulo se analizará el caso de estudio de una granja porcina promedio con una población de 10,000 cabezas, donde se contempla el uso de biodigestores para el tratamiento de las excretas, y la generación de energía eléctrica, así como el uso del efluente como fertilizante.

Algunos datos con los que se ha trabajado para hacer los cálculos de obtención de biogás son tomados de un estudio socio-económico realizado por la UNAM y otras instituciones en la zona del Bajío de México. Se proporcionan asimismo las características de diversas alternativas de elección de motogeneradores y microturbinas.

### 3.1 Panorama mundial y nacional de la porcicultura

En las últimas décadas la carne de cerdo es el producto cárnico de mayor consumo en el mundo. En el período 1985 a 1992 se registró un incremento mundial de la población porcina. En los años siguientes se continuó observando un mercado internacional de cárnicos en desarrollo, resultado del crecimiento económico de naciones en vías de desarrollo, en las cuales se observan cambios importantes en sus patrones de consumo.

Entre los principales productores mundiales, destacan China, la Unión Europea, Brasil, Canadá y Rusia. La producción norteamericana sólo representa el 10% del volumen mundial, mientras que la participación de China es de más de 50%, aunque la mayor parte de la oferta se consume en el mercado interno. Figura 3.1.

#### PRODUCCIÓN MUNDIAL DE CARNE DE CERDO

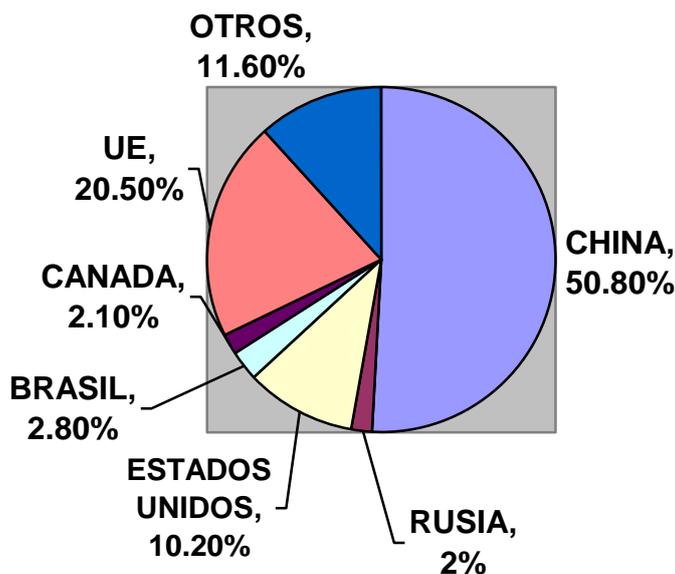


Figura 3.1 Producción mundial de carne de cerdo. FUENTE: USDA

En México, el consumo de carne de cerdo ha tenido una tendencia a la alza en los últimos años por lo tanto es una de las industrias más importantes dentro del sector agropecuario. Figura 3.2.

### ESTIMACIÓN DEL CONSUMO DE CARNE DE CERDO EN MÉXICO

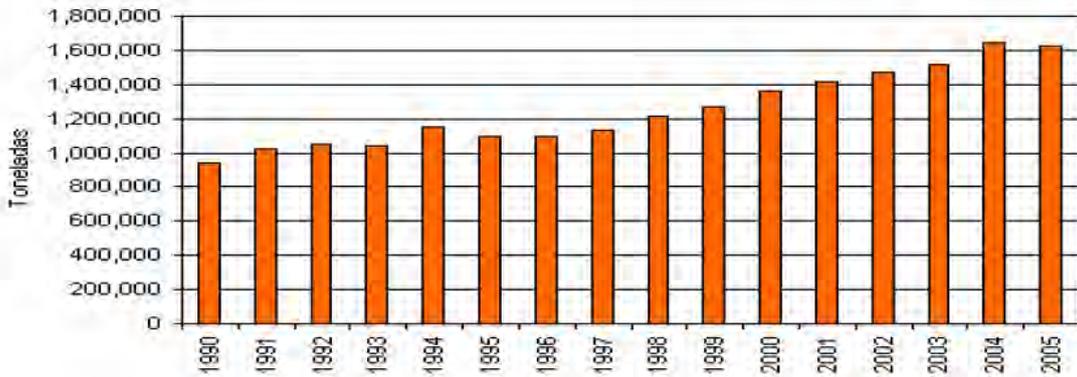


Figura 3.2. Estimación del consumo de carne de cerdo en México. FUENTE: [www.porcicultura.com](http://www.porcicultura.com)

Se pronostica que para 2011, la oferta en México podría rebasar los 2 millones de toneladas.

En el sector porcícola mexicano, se han identificado las siguientes zonas: la del Bajío, la Central, la Zona del Noroeste, las Zonas Tropicales (del Golfo y la Península de Yucatán) y las demás están distribuidas por todo el país. Figura 3.3

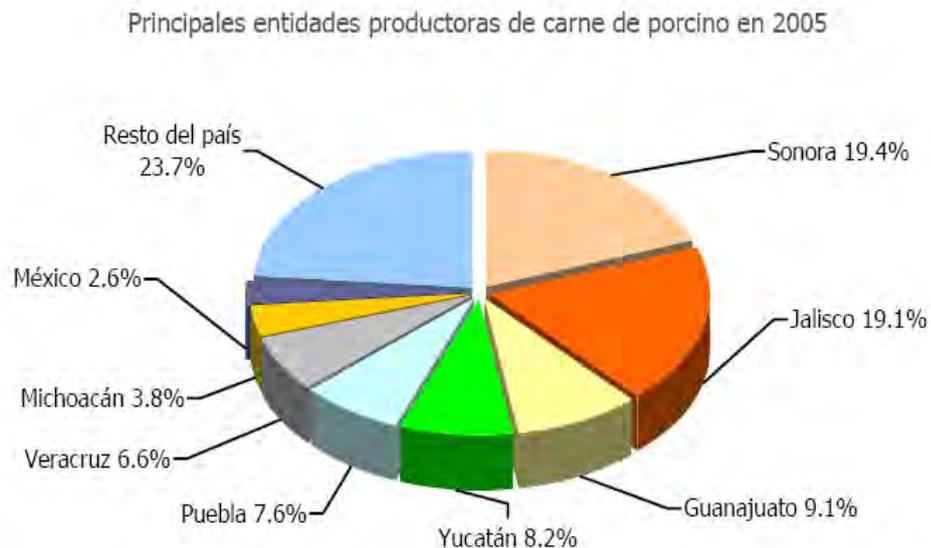


FIGURA 3.3 Principales entidades productoras de carne de porcino en 2005

FUENTE: CGG con información de SIAP / SAGARPA.

El 75% de la producción está concentrada en 8 entidades federativas y de hecho, prácticamente el 40% de la producción es aportada por Jalisco y Sonora.

La presencia de grupos empresariales de poricultores, juega un papel importante en el desarrollo de esta actividad en el estado de Sonora y Yucatán, los cuales han manifestado crecimiento anual en los últimos años.

El estado de Jalisco se mantiene como la entidad porcina más representativa del Altiplano mexicano y en torno al cuál se desarrolla gran parte de la porcicultura de los estados del Centro Occidente del país.

Puebla y Veracruz, han sustentado su crecimiento en la consolidación y expansión de grupos porcinos, que tienen una fuerte presencia en el abasto de las principales ciudades de esos estados, así como en la Capital del país.

Los *niveles tecnológicos* aplicados en cada una de las zonas son diferentes. La Zona Norte se caracteriza por implementar altos niveles tecnológicos, la Zona del Golfo y Peninsular predomina la porcicultura de traspatio y la semitecnificada.

La *porcicultura tecnificada* se caracteriza por utilizar prácticas de alto grado, sistemas computarizados para el manejo general de la granja, líneas genéticas específicas, inseminación artificial, programas estrictos de sanidad, alimentación y de conservación del medio ambiente; normalmente, poseen sus propios rastros y laboratorios de control de calidad.

En el *nivel semitecnificado* se utilizan sistemas menos eficientes, en comparación con el nivel tecnificado; en éste, la alimentación es balanceada, el manejo aceptable, aunque no utilizan programas de manejo computarizado, algunos producen sus alimentos o premezclas, pero la mayoría no; persiste el programa estricto de sanidad, pero solo en el aspecto patológico y utilizan de manera parcial los servicios de asesoría. En este nivel, no se utilizan líneas genéticas especializadas, pero sí con calidad genética; sus construcciones e instalaciones no son muy funcionales, se descuida con mayor frecuencia el aspecto de alimentación (suministro y comederos ineficientes, balanceo de raciones), que repercuten en una baja eficiencia de la conversión alimenticia, por ser la alimentación la que representa el mayor porcentaje de costos.

La *porcicultura de traspatio* es la que se lleva a cabo a nivel familiar, ya que la mano de obra es aportada por los mismos miembros de la familia, aquí el grado de tecnología es bajo, no se da alimentación balanceada, ni se tiene control estricto en sanidad, ni del medio ambiente; no se usan servicios de asistencia técnica y en su caso, puede ser parcial o temporal; el tipo de cerdo es criollo, cruzado ó encastado con líneas puras. El producto tiene como destino el autoconsumo y el abasto local.

### 3.2 El estiércol de cerdo

El estiércol de cerdo, de la mayoría de las granjas es una mezcla de heces y orina, cuya proporción depende considerablemente del agua de los bebederos y de la limpieza por lo que el contenido de agua puede variar de una granja a otra.

El estiércol de cerdo, además de ser una fuente de proteína y energía, contiene altos niveles de fósforo, calcio y magnesio. Se estima que el estiércol de cerdo posee más del 90 % de los minerales que contiene el alimento. La calidad de los alimentos de los cerdos es un factor que influye sobre la composición química del estiércol también lo afectan factores específicos del animal y del ambiente.

El valor nutricional del estiércol de cerdo es variable, dependiendo de la ración, régimen alimenticio, raza y de las condiciones ambientales de los cerdos así como del almacenaje del estiércol y del proceso recibido.

“El estiércol de cerdo contiene entre el 5 y 50% de la energía bruta del 18 al 30 % de la proteína cruda y un 75 % del nitrógeno (N) del alimento ingerido. Del total de N excretado, se estima, que el 33 % está presente en las heces y un 67 %, en la orina.

Se ha demostrado, que el 60 % de la proteína en el estiércol de cerdo es biológicamente disponible y que su valor es del 70 %”.<sup>43</sup>

---

<sup>43</sup> Investigación y Propuesta al Desarrollo de Soluciones del Sector Porcícola, al Problema Ambiental y Territorial en Holanda y a la Generación de Empleo en Colombia. Camilo Andrés, Jaramillo González Juan, Manuel Gálvez Schlesinger.

Los requerimientos nutricionales de los cerdos varían en las diferentes etapas de su vida, durante los periodos de crianza y crecimiento o durante la etapa reproductiva. Se acostumbra alimentarlos con excesivos niveles de nutrientes, los cuales al ser excretados producen altas cantidades de abono generando así la emisión de amoniaco en el aire y el abono esparcido en la tierra. Figura 3.4

### CONSUMO, UTILIZACIÓN Y PÉRDIDA DE PROTEÍNA EN LA PRODUCCIÓN DE CERDOS

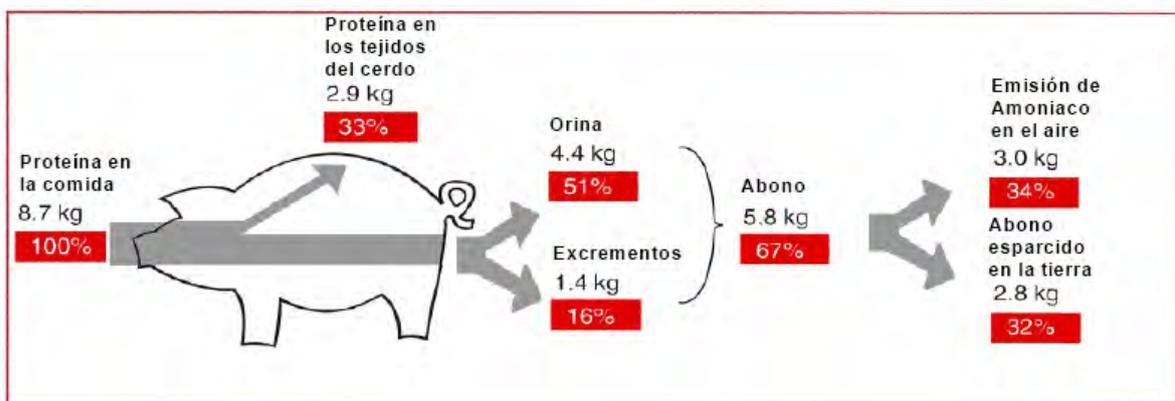


Figura 3.4 Consumo, utilización y pérdida de proteína en la producción de cerdos.

*FUENTE: Prevención y Control Integrada de la Polución, Documento de las Mejores Técnicas disponibles para el manejo de la Porcicultura y Avicultura, Julio de 2003, Documento de la Comisión Europea*

#### 3.2.1 La producción del estiércol de cerdo y su potencial contaminante

La producción de grandes cantidades de estiércol y su composición química propician la contaminación ambiental; por lo que las excretas representan uno de los principales problemas de la industria porcina. El incremento mundial del número de cerdos y la tendencia en la intensificación de su producción ha creado verdaderos problemas para el depósito de excretas, que originan la contaminación, debido a la emisión de malos olores por la acumulación de materia orgánica que propician además, la proliferación de moscas. El de cerdo, es el residuo más contaminante por su alto contenido de materia orgánica e inorgánica.

En México, el manejo de los desechos de las granjas de cerdos, continúa siendo uno de los problemas fundamentales; debido a que son difíciles de manejar, además del ya señalado alto índice de contaminación.

Potencialmente la producción intensiva de cerdos contribuye a un gran número de fenómenos ambientales, como lo son:

- La acidificación ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ )
- La eutrofización <sup>44</sup>(N, P)
- Reducción de la capa de ozono
- Incremento del efecto invernadero
- Desecación
- Olores
- Pesticidas

### 3.2.2 Emisiones al aire

La alta concentración de gases tóxicos en el interior de las granjas porcinas, no solo afecta a los parámetros técnicos en las diferentes fases de la producción (parámetros de crecimiento y reproductivos), sino también, y dependiendo de su concentración, puede ser un problema para la salud y el bienestar de los cerdos e incluso para la salud de los operarios de la granja.

Además, la presencia de gases tóxicos ocasiona un estrés ambiental en los cerdos, provocando cambios etológicos (cambios posturales para poder respirar el aire más puro) y cambios fisiológicos (aumento de las respiraciones por minuto) para hacer frente a esa situación estresante.

Estos aspectos recobran una especial importancia en el caso de los cerdos, ya que se trata de animales con un aparato respiratorio insuficiente en relación a su masa

---

<sup>44</sup> La eutrofización se refiere al enriquecimiento del agua con nutrientes, lo cual puede generar efectos contraproducentes en la biodiversidad acuática y en el uso del agua por parte de los humanos.

muscular. De ahí que determinadas concentraciones de algunos gases les afecte más que a otros animales.

### **Olores**

El olor puede ser emitido por el almacenamiento y el esparcimiento del abono en la tierra. Este impacto se incrementa de acuerdo al tamaño de la planta en donde se están criando los cerdos. El polvo emitido por los criaderos, también contribuye al transporte del olor.

### **Polvo**

La generación de polvo producida por los excrementos de los cerdos, no es un factor que cobre mayor importancia en el medio ambiente, pero es necesario mencionarlo, ya que puede generar fastidio durante un clima seco o de mucho viento. Este polvo puede afectar la respiración de los cerdos.

### **3.2.3 Emisiones relacionadas con el nitrógeno**

El mayor componente para la acidificación de los suelos y las aguas, es la emisión de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), ya que éste gas tiene un olor corrosivo el cual en altas concentraciones puede irritar los ojos, la garganta y las membranas mucosas tanto en humanos como en animales de granja.

El amoníaco sube lentamente desde los excrementos del cerdo y es eventualmente eliminado por un sistema de ventilación, quedando así en el medio ambiente. Factores como la temperatura, la humedad, la ventilación y la alimentación pueden afectar los niveles de emisión del amoníaco.

Emisiones al aire. Sistema de producción		
Amoniaco (NH <sub>3</sub> )		Albergue del animal, almacenamiento y esparcimiento del abono en la tierra.
Metano (CH <sub>4</sub> )		Albergue del animal, almacenamiento y tratamiento del abono.
Oxido Nitroso (N <sub>2</sub> O)		Albergue del animal, almacenamiento y esparcimiento del abono en la tierra.
Olor (H <sub>2</sub> S)		Albergue del animal, almacenamiento y esparcimiento del abono en la tierra.
Humo negro/CO		Quemado de los excrementos

**TABLA 3. 1: Emisiones al aire en producción intensiva de cerdos**

**FUENTE: Previsión y Control Integrada de la Polución, Documento de las Mejores Técnicas disponibles para el manejo de la Porcicultura y Avicultura, Julio de 2003, Documento de la Comisión Europea**

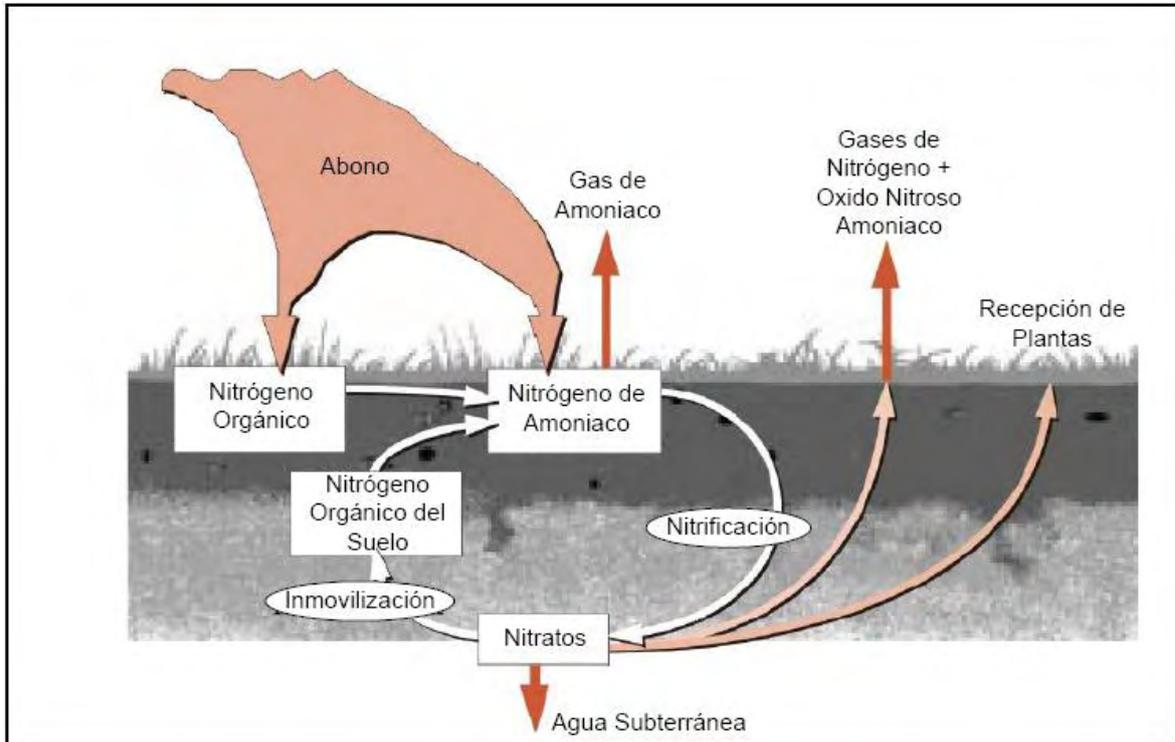
La generación de sustancias gaseosas durante el albergue del animal influye directamente en la salud tanto de los animales como de los criadores de estos. Los elevados niveles de otros gases como el oxido nitroso, el cual se produce con la simple exposición del abono de cerdo al ambiente, generan gas de efecto invernadero.

En la Figura 3.5 se muestra como es el ciclo del abono, desde que es esparcido por el suelo, hasta que emite los gases contaminantes.

La orina es también uno de los compuestos con alto grado de amonio, ya que contiene el nitrógeno que resulta del proceso metabólico de las proteínas. El nitrógeno existe en

la orina principalmente como urea la cual es hidrolizada mas rápidamente por una enzima y convertida en carbonato de amonio.

### CICLO DEL ABONO



**FIGURA 3.5** Ciclo Del Abono. Fuente: *Prevención y Control Integrada de la Polución. Documento de las Mejores Técnicas disponibles para el manejo de la Porcicultura y Avicultura, Julio de 2003, Documento de la Comisión Europea*

#### 3.2.4 Emisiones al suelo, al agua subterránea y a la superficie del agua

Las emisiones de los excrementos insolubles son los mayores contaminantes de los suelos y las aguas y se producen por el inadecuado manejo y las fallas operacionales, generalmente accidentales, de los excrementos de los cerdos.

En la superficie del agua se pueden generar emisiones debido a descargas directas en lagunas, las cuales están destinadas para el tratamiento de los excrementos que surgen en una planta porcina.

Sin embargo, de todas las fuentes contaminantes, el esparcimiento del abono en la tierra es la actividad responsable de la emisión de una gran cantidad de componentes que afectan directamente los suelos, las aguas y el aire

Aunque existen varias posibilidades para el tratamiento de los excrementos de cerdo, la aplicación del abono en la tierra es la técnica más utilizada. Los excrementos pueden ser un buen fertilizante, pero cuando se utiliza en exceso se convierte en una alta fuente de emisiones contaminantes.

### 3.3 Gestión y procesamiento del estiércol

El problema de la acumulación de estiércol en las granjas ha determinado la necesidad de buscar alternativas para reducirlo. Las técnicas hasta ahora propuestas implican la utilización de medios físicos, químicos y biológicos.

**Secado natural.** El deshidratado natural es la más común y sencilla de las tecnologías, el producto es fácil de incorporar a la dieta completa, con bajos costos de manejo y gastos de energía; además, provoca una baja contaminación del aire durante el proceso. Ocasiona pérdida de nitrógeno y relativamente alta de energía el secado en forma natural puede contener patógenos; además, hay necesidad de pulverizarlo por la formación de terrones.

**Secado artificial.** El secado con aire caliente tiene la ventaja de dar origen a un producto desodorizado, estable y flexible, fácil de almacenar e incorporar a la dieta y con buena aceptación por parte del animal. El deshidratado con aire caliente es el proceso más efectivo, para la eliminación de gérmenes. La desventaja que presenta este tratamiento es el alto costo del secado, que puede ser prohibitivo, por los costos de energía y equipo, mismos que se incrementan al adicionar el equipo de control de olor. Los costos para deshidratar el estiércol de cerdo, son aún mayores por su alto contenido de humedad además, el proceso puede estar restringido para ciertas áreas.

**Ensilaje.** El ensilaje del estiércol disminuye las pérdidas de nutrientes, elimina los patógenos, es una técnica económica para procesar el estiércol que permite el almacenaje y un producto desodorizado. Sin embargo, el ensilaje da origen a un

producto menos flexible y tiene un insumo de energía mucho menor requiere de mayor manipuleo y labores, de equipo y de infraestructura la técnica del ensilaje, no es tan popular, aunque se ha incrementado su uso, sobre todo por los productores tecnificados y su práctica implica ciertos cuidados, para obtener un ensilaje de calidad.

**Separación de líquidos y sólidos.** Los sólidos, separados de los líquidos, tienen buena aceptación por el animal y permiten la mecanización. Como desventajas se menciona, una alta pérdida de nutrientes; si los líquidos no son utilizados se retienen sólidos de bajo valor nutritivo; se requiere de diseños para operaciones alimenticias; así como altos costos de inversión, de operación y mantenimiento.

**Tratamientos con productos químicos.** Con los tratamientos químicos del estiércol se incrementa la aceptabilidad del animal; la inmediata cosecha y realimentación reduce las pérdidas; no requiere almacenaje del estiércol y origina un producto desodorizado; requiere poca energía y labores, y puede utilizarse la fracción sólida y líquida. Sin embargo, los tratamientos químicos no han sido valorados económicamente y no es factible utilizarlos en la granja.

**Oxidación aeróbica de los líquidos.** Con el tratamiento de las heces, a través de la oxidación aeróbica, el producto tiene una buena aceptación por parte del animal; las células simples, son útiles tanto para los monogástricos como para los rumiantes; hay un control de patógenos y origina un producto desodorizado. El procesamiento por oxidación aeróbica de los líquidos, requiere de un alto grado de capacidad para el manejo y constante control, así como altos costos de operación.

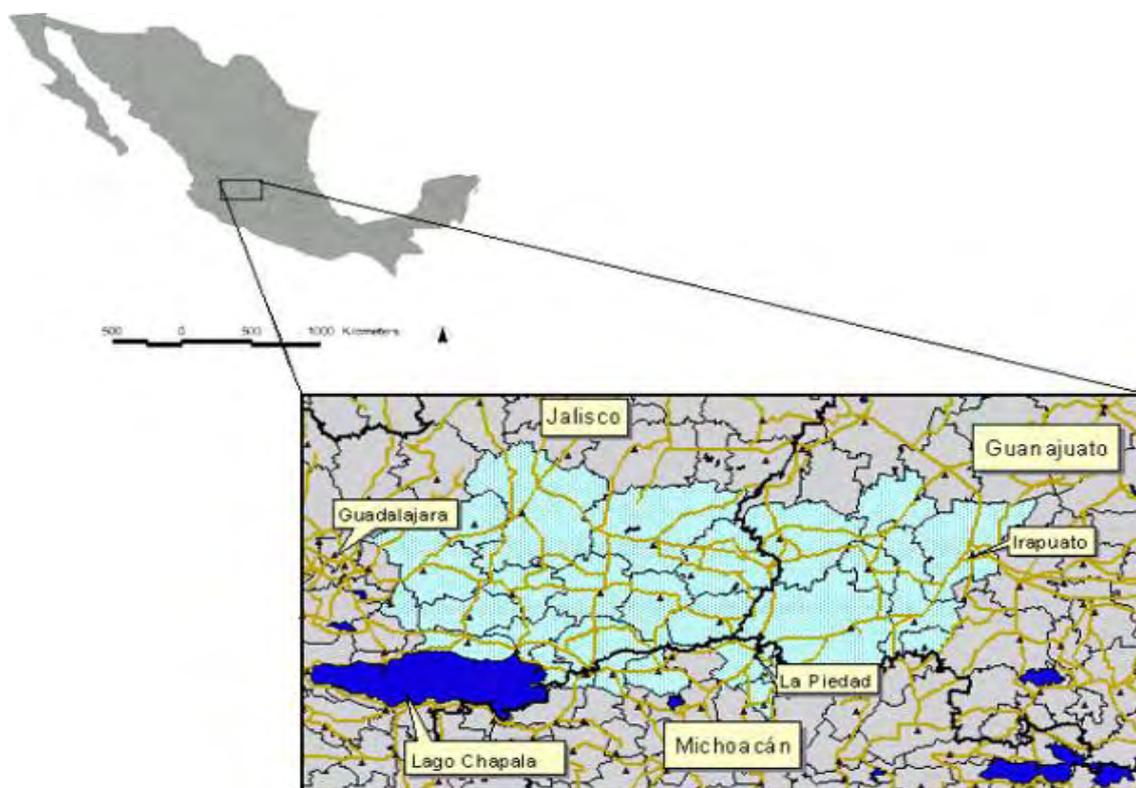
**Peletizado.** El peletizado es una técnica de procesamiento de excretas, pero no fácilmente adaptable para el estiércol de cerdo por su alto contenido de humedad.

**Otros.** El estiércol animal puede ser utilizado como fertilizante orgánico y alimento como fuente de energía para cama de los animales a través de los sólidos como sustrato en los procesos de fermentación, tanto en la digestión anaeróbica y aeróbica (para la producción de biogás), en la producción de algas, bacterias, larvas y lombriz de tierra.

### **3.4 CASO DE ESTUDIO**

#### **3.4.1 Descripción**

Para llevar a cabo el análisis técnico-económico del proyecto del biodigestor en una granja porcina en México, se ha considerado una granja promedio de **10,000 cabezas**, ubicada en el territorio comprendido por la zona del Bajío, el cuál integran las regiones de Guanajuato, Michoacán y Jalisco<sup>45</sup>, éstos se sitúan dentro de la región hidrológica Lerma - Chapala – Santiago.



**FIGURA 3.6** Ubicación de la granja promedio. FUENTE: *Opciones para el Manejo de Efluentes de Granjas Porcícolas de la Zona Centro de México. Reporte de la Iniciativa de la Ganadería, el Medio Ambiente y el Desarrollo (LEAD) - Integración por Zonas de la Ganadería y de la Agricultura Especializadas (AWI)*

Debido al número de cabezas de porcinos se puede decir que la granja es industrial con una producción a nivel semitecnificado y de ciclo completo que comprende: producción de sementales, reproductoras, destete, preiniciación, iniciación, crianza y finalización.

<sup>45</sup> Opciones para el Manejo de Efluentes de Granjas Porcícolas de la Zona Centro de México. Reporte de la Iniciativa de la Ganadería, el Medio Ambiente y el Desarrollo (LEAD) - Integración por Zonas de la Ganadería y de la Agricultura Especializadas (AWI)

Respecto a la alimentación proporcionada se sabe que debido a los elevados costos de ingredientes de alta calidad, que en ciertas etapas de producción son necesarias para la buena digestión de los porcinos y el mayor manejo que implica en la fabricación de alimentos, los porcicultores prefieren usar alimentos comerciales en los cuales ya viene incluidos algunos de éstos.

### INVENTARIO PECUARIO DE LOS MUNICIPIOS DEL ÁREA DE ESTUDIO

Municipio	Bovinos carne	Bovinos leche	Porcino	Ovinos	Caprinos	Aves carne	Aves huevo
<b>Michoacán</b>							
Briseñas	1,569	1,366	1,712	0	1,502	1,034	12,991
La Piedad	1,618	9,285	94,920	0	12,507	206,694	58,748
Numarán	584	2,717	3,677	0	4,008	66,370	13,513
Tanhuato	764	3,762	1,124	0	9,291	151,703	31,504
V.Hermosa	1,618	5,022	2,002	0	7,234	119,466	24,321
Zináparo	3,282	7,749	4,498	1,096	1,034	17,066	3,474
<b>Jalisco</b>							
Acatic	7,635	7,471	63,599	902	533	1,499,535	1,124,813
Arandas	28,609	27,995	37,904	554	8,038	37,145	912,011
Atotonilco	11,880	10,187	99,256	0	4,784	1,411,952	20,129
Ayotlán	18,791	16,099	126,341	1,014	467	5,009	9,867
Degollado	14,364	12,301	91,319	127	2,777	74,138	6,446
Jesús María	12,530	12,262	11,663	559	214	8,075	12,160
Juanacatlán	7,212	6,189	3,478	127	4,179	20,037	14,603
La Barca	14,801	12,656	21,602	406	24,539	552,024	1,181,537
Ocotlán	10,118	8,665	900	203	2,132	109,870	4,868
Poncitlán	9,215	7,891	368	165	1,145	123,565	8,288
Tepatitlán	77,653	75,965	168,201	0	5,634	91,248	12,001,021
Tototlán	11,714	10,045	43,818	203	2,745	381,374	6,578
Jamay	16,707	16,349	8,292	554	852	63,793	115,521
Zapotlán	13,551	11,604	859	165	3,209	8,683	789
Zapotlanejo	28,243	29,047	162,571	21,913	98,055	1,612,489	1,158,204
<b>Guanajuato</b>							
Abasolo	6,360	9,947	99,030	700	7,117	15,254	1,589
M.Doblado	10,121	15,830	29,045	666	8,375	39,167	4,081
Cuerámara	1,019	1,593	13,325	1,164	9,569	9,763	1,017
Huanímaro	4,921	7,696	16,244	797	7,009	15,567	1,622
Irapuato	12,478	19,518	96,034	537	21,487	265,664	27,682
Pénjamo	12,590	19,693	310,133	2,735	16,838	123,496	12,868
Romita	6,093	9,531	4,291	736	15,282	23,700	2,470

*Tabla 3.2 Inventario Pecuario de los municipios del área de estudio. FUENTE: Opciones para el Manejo de Efluentes de Granjas Porcícolas de la Zona Centro de México. Reporte de la Iniciativa de la Ganadería, el Medio Ambiente y el Desarrollo (LEAD) - Integración por Zonas de la Ganadería y de la Agricultura Especializadas (AWI)*

Las instalaciones para mantener a los cerdos con las que se cuentan son casetas abiertas o cerradas con piso sólido. Además dentro de la granja se cuentan con oficinas, bodegas de alimentos, y con casas habitación.

El método de limpieza más común es el método manual con uso de agua, por lo que se producen importantes cantidades de aguas residuales. Se usan también bombas de presión para limpieza. Al final los residuos sólidos se separan de los líquidos y el uso de las excreta es como fertilizante en húmedo. Otras de las veces las aguas residuales van a parar en tubos de desagüe a los ríos o lagunas cercanas.

### 3.4.1.1 Determinación Potencial de Biogás

#### OBTENCIÓN DEL PODER CALORÍFICO

**PROFUEL - Fuel Selection and Definition Utility**

Fuel name:

Fuel supply temperature:  C

Composition specified by:

- Volume percent
- Weight percent
- Atomic percent

**Fuel Summary**

Fuel phase = Gas  
 LHV @ 25C = 20545 kJ/kg  
 HHV @ 25C = 22844 kJ/kg  
 Fuel Supply Temperature = 25C  
 Total LHV + Sensible Heat @ 25C = 20545 kJ/kg  
 Fuel enthalpy referenced to 0C = 22940 kJ/kg

Volumetric LHV @ 25C = 20101 [kJ/scm]  
 Volumetric HHV @ 25C = 22350 [kJ/scm]  
 (scm: m<sup>3</sup> @ 25 C & 1 atm)

Molecular Weight = 23.93

Aceptar

**FIGURA 3.7** Obtención del poder calorífico de acuerdo a la composición del biogás. *Análisis Gavimétrico Elaboración Dr. Gabriel de los Santos*

La producción promedio de excretas que genera cada animal es **1.2 Kg. diarios**<sup>46</sup>, por lo que se obtiene un total de desechos de **12,000 Kg. /día**. Con esta cantidad de excretas la obtención de biogás en un biodigestor con una eficiencia de **0.5** es **6000 Kg. biogás / día** ó **9174 m<sup>3</sup>biogás/día** a una temperatura constante de **25 °C** y a **1atm**. Si el carbono se presenta en una proporción del 50% en el biogás se obtiene **3, 000 Kg. C /día** ó **4,587**

<sup>46</sup> Se considera residuos sólidos solamente.

**m<sup>3</sup>C/día**. El porcentaje de metano en la mezcla de biogás es de **55%** y si se considera la relación (16 Kg. CH<sub>4</sub>/12 Kg.C) se obtienen **2,200 Kg. CH<sub>4</sub>/día** ó **3364m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/día**.

En la figura 3.7 se observa que considerando a la composición del biogás con una proporción de **55% CH<sub>4</sub>, 30% CO<sub>2</sub>, 10 % H, 5% H<sub>2</sub>S**, se obtiene un poder calorífico para este biogás de **22.8 MJ/kg**

**Tabla** **Características generales de la granja** 3.3

No de cerdos	10,000
Procesos	gestación, crianza, desarrollo y finalización

*Características generales de la granja*

La capacidad que el biodigestor debe tener es de **10,576 m<sup>3</sup>**. Las dimensiones recomendadas son: **23.5 m de ancho \* 30 m de largo \* 15 m de alto**. Se utiliza una fosa de oxidación para almacenar el lodo residual y hacer el tratamiento de éste como composta para venta que debe tener una capacidad de **11,105 m<sup>3</sup>**.

La vida útil del biodigestor es de **15 años**. La producción de Bioabono producto del efluente del biodigestor es de **7,200 Kg. /día**, rico en nutrientes y listo para usarse como fertilizante sin ningún tratamiento posterior de enriquecimiento.

**Características generales del biodigestor**

Dimensión	23.5*30*15 m.
Capacidad del Biodigestor	10,576 m <sup>3</sup>
Capacidad de producción de Biogás	9174 m <sup>3</sup> al día
Producción de bioabono	7,200 kg/día
Residuos líquidos	120,000 kg/día
Residuos sólidos	12,000 kg/día
Vida útil	15 años
Capacidad Fosa de oxidación	11,105 m <sup>3</sup>

*Tabla 3.4 Características generales del biodigestor  
Elaboración propia a partir de 1, 2, 4, 5, 9 apartado bibliográfico*

### 3.4.1.2 Determinación potencial de generación eléctrica por tecnologías viables

En cuanto a la producción de electricidad se obtiene **1.37 MW combustible** y se pueden utilizar motogeneradores o microturbinas<sup>47</sup> diseñados para la quema de gas metano las cuales tienen una eficiencia de energía eléctrica del **38% para motogeneradores marca GUASCOR y 33% para la microturbina marca CAPSTONE**, que producen **520 kWe<sup>[48]</sup>** y **452 kWe**, respectivamente.

El consumo de energía eléctrica promedio de la granja es de **50, 000 kW- h** al mes.

Electricidad Generada con eficiencia de 38%	
Poder calorífico del biogás	22.8 MJ/kg
Altura granja snm	1500 m
2 motores guascor de	336 kWe
Eficiencia del motor	38%
Energía Producida	12,494 kw-hr día
Energía Producida	4,497,840 kw-hr año

*Tabla 3.5 Electricidad generada con eficiencia de 38%.*

Electricidad Generada con eficiencia de 33%	
Poder calorífico del biogás	22.8 MJ/kg
Altura granja snm	1500 m
Microturbina de	565 kWe
Eficiencia	33%
Energía Producida	10,850 kw-hr día
Energía Producida	3,960,396 kw-hr año

*Tabla 3.6 Electricidad generada con eficiencia de 33%.*

<sup>47</sup> Mas adelante se dan los datos técnicos de los motogeneradores y de las microturbinas

<sup>48</sup> Potencia eléctrica ( kilo-watts eléctricos)



**FIGURA 3.8** Construcción Biodigestor .Fase: Excavación  
**FUENTE:** Revista claridades Agropecuarias 168. Agosto 2007.



**FIGURA 3.9** Construcción Biodigestor. Fase: puesta del polietileno  
**FUENTE:** Revista claridades Agropecuarias 168. Agosto 2007.



**FIGURA 3.10** Llenado del Biodigestor.  
**FUENTE:** Revista claridades Agropecuarias 168. Agosto 2007.



**FIGURA 3.11** Formación de biogás.  
**FUENTE:** Revista claridades Agropecuarias 168. Agosto 2007



**FIGURA 3.12** *Obtención de biogás.*  
**FUENTE:** *Revista claridades Agropecuarias 168. Agosto 2007*



**FIGURA 3.13** *Quemador de biogás.*  
**FUENTE:** *Revista claridades Agropecuarias 168. Agosto 2007*

### 3.4.1.3 Descripción de los Motores

Debido al avance tecnológico que se ha dado en el área de motores, se tienen diversas alternativas de elección. Tanto en capacidad como en precio en el mercado se encuentran nacionales o importados.

Por ello se analizaron motogeneradores nacionales marca PERKINGS e importado marca GUASCOR, además de microturbinas americanas marca CAPSTONE

#### Características Motogeneradores

Las características del motogenerador *marca Perkins* pueden verse resumidos en la Tabla 3.7. Estos motogeneradores son los más baratos en el mercado pero de pequeña capacidad, por lo tanto para grandes requerimientos se tendría que considerar la instalación de múltiples de ellos, lo que aumenta el costo ya que requieren de tableros de sincronización para la puesta en paralelo cuyo costo es similar al de otro motogenerador, además de la instalación y mantenimiento para cada uno.

Motor- generador Marca- Perkins			
60 kw		Nacional	Automático
Datos del Generador		Datos técnicos del motor	
Características	Planta de Biogás	Características	Motor para Biogás
Motor Econogas	G6	Marca	G6.354.4
Perkins	354.4B	Potencia bhp a 1800 rpm	Econogás Perkins
Generador	WEB	No de cilindros	90
Capacidad del generador (kW)	50-60	Desplazamiento cúbico en ltrs.	6 en línea
Voltaje de generación (V)	220-440	Tiempos	5.8
Factor de potencia	0.8	Tipo de gobernación	4
Frecuencia luz	60	Enfriamiento	4% electrónica
R.P.M.	1800	Sistema Eléctrico	Anticongelante
Fases	3	Tipo de encendido	12 volts
Hilos	4	Relación de compresión	electrónico
Ciclo de operación	Continuo y/o intermitente	Orden de encendido	11.5::1
Régimen de Sobrecarga	10% hasta 2 hrs. cada 24 hrs.	Rotación	1-5-3-6-2-
		Diámetro	4
			Sentido del reloj
			98.4

Tabla 3.7 Características MG Perkins. Elaboración propia a partir de 1 apartado bibliográfico

La Tabla 3.8 muestra las características generales del **motor Guascor**, además su arranque puede ser eléctrico o neumático, accionamiento de servicios mediante engranes, turbocompresor de alto rendimiento, de 6 y 8 cilindros en línea, con aberturas laterales de inspección, bielas de corte oblicuo, cojinetes de biela y cigüeñal bimetálico, pistones de aleación de aluminio con tres aros, colectores de escape refrigerados. Los motores Guascor tienen un buen desempeño en circunstancias duras de trabajo y un mantenimiento económico



**FIGURA 3.14 Motogenerador. FUENTE: [www.guascor.com](http://www.guascor.com)**

<b>Motor- generador Guascor</b>	
Importado de Europa 336kWe	
Generación energía eléctrica	Automático
60 Hz 1200 RPM	Modelo FG180

**Tabla 3.8 Características Motogenerador Guascor.**

Disponen de controles de carburación, velocidad y carga electrónicos lo que les permite operar a régimen de emisiones constante ante fluctuaciones de las condiciones de trabajo. El motor se adapta a diferentes calidades de gas, pudiendo pasar de gas natural a biogás sin interrumpir el funcionamiento. Dispone de un módulo computarizado que da lectura al estado de vida de las bujías o permite modificar el avance de encendido a través de señales externas.

### Características Microturbina



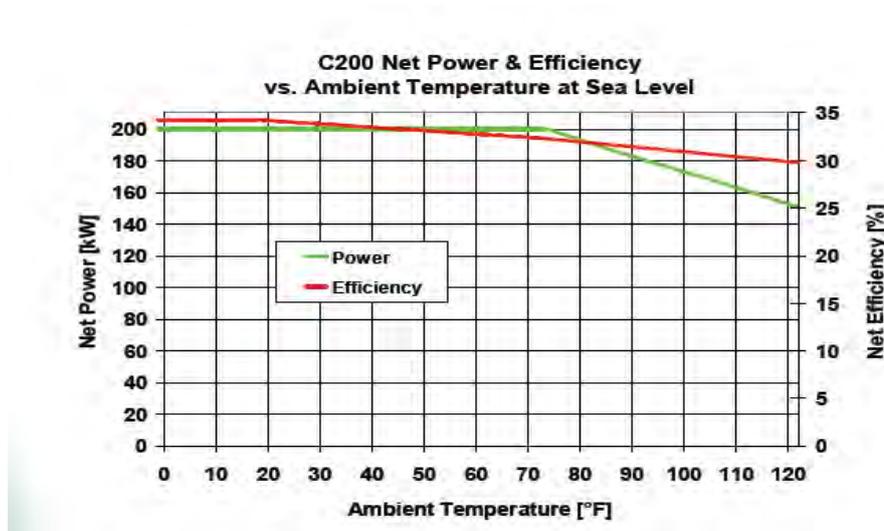
**C200 MicroTurbine**

**FIGURA 3.15** Microturbina. **FUENTE:** [www.capstoneturbine.com](http://www.capstoneturbine.com)

La microturbina considerada es de marca Capstone, de procedencia americana. Además de contar con un diseño especial para uso de biogás que genera energía eléctrica con una eficiencia del 33%, maneja el sistema de cogeneración alcanzando con él una eficiencia del 73%.

Dichas unidades contienen tableros de sincronización internos para la puesta en paralelo de las turbinas o la conexión a la red eléctrica nacional. Esta marca maneja unidades de 30 kW, 200 kW y 1000 kW con frecuencias de 50 Hz ó 60 Hz.

En la siguiente gráfica se observa la eficiencia de la microturbina en condiciones variables de temperatura ambiente a nivel de mar.



**FIGURA 3.16** Gráfica eficiencia Microturbina. **FUENTE:** [www.capstoneturbine.com](http://www.capstoneturbine.com)

## CONCLUSIONES

La producción de porcinos está en crecimiento a nivel mundial ya que va de la mano con el aumento en el consumo. Así la carne de cerdo ocupa el tercer lugar en la alimentación de los mexicanos. Debido a ello cada vez mas granjas industriales tecnifican sus instalaciones y agrandan su producción, están en constante preña de cerdas y crecimiento de lechones, lo cuál asegura el éxito de los ranchos.

Actualmente ya se han identificado los problemas más severos que provoca la porcicultura en el medio ambiente: contaminación del agua superficial y del subsuelo por el nitrógeno y fósforo contenido en las excretas, deterioro de la calidad del aire por la generación de gases tóxicos, principalmente dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), oxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), ácido sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) y metano ( $\text{CH}_4$ ), que afectan a los trabajadores de la granja, a las poblaciones vecinas y a los propios cerdos y contribuyen con el aumento de los gases de efecto invernadero.

Sin embargo aunque se han creado normas de regulación ambiental, éstas solamente aplican a los cuerpos receptores, es decir no regulan las granjas, las cuales tanto las pequeñas juntas contaminan igual que pocas granjas grandes. Por lo tanto las descargas residuales se castigan solamente con multas si se pasa de los límites máximos permisibles. Dichas multas no se aplican al tratamiento y regeneración del ecosistema.

La presentación del caso de estudio aplica para una granja promedio en la cuál hay un importante desalojo de desechos que crea problemas de tratamiento, aunque en algunas granjas se han colocado sistemas como lagunas de oxidación o fosas de almacenamiento, la mayoría ineficaces y poco aprovechadas. Por lo tanto la consideración de la puesta en marcha de un sistema anaeróbico de tratamiento como un biodigestor con las características señaladas debe mantenerse bajo estricto control y vigilancia.

Si se quiere aprovechar el uso del biogás para generar energía debe considerarse un sistema que permita obtener beneficios pero que además de no elevar mucho su costo cumpla con los requerimientos de potencia. En el siguiente capítulo se analizan los costos y se ahondará en la puesta en marcha del biodigestor y la producción de electricidad en la granja caso de estudio.

# Capítulo 4

## **ASPECTOS TÉCNICO- ECONÓMICOS**



## **Capítulo 4. ASPECTOS TÉCNICO-ECONÓMICOS.**

### **Introducción**

En el siguiente capítulo se llevará a cabo un análisis técnico y se verán los aspectos económicos del caso de estudio, de acuerdo a los valores obtenidos de producción de excretas, generación de biogás, lodo residual, etc., descritos al final del capítulo anterior.

Primero se estimaran los costos de acuerdo a la tecnología seleccionada del caso en general, para después llevarlos a un enfoque particular en diversas alternativas.

Se consideran cuatro alternativas principales en las cuales se realizó el modelo económico:

1. Biodigestor 10 años de vida útil sin fosa
2. Biodigestor 10 años de vida útil con fosa
3. Biodigestor 10 años de vida útil con fosa y motogenerador sin Bonos de Carbono
4. Biodigestor 10 años de vida útil con fosa y motogenerador con Bonos de Carbono

También se notará que destinos puede tener el biogás y que pasa con la adaptación de motogeneradores al proyecto para la producción de electricidad.

De acuerdo a las alternativas de los motogeneradores y microturbinas presentados se realiza una selección para notar que tan conveniente es usar uno u otro.

Se observa que pasa con la electricidad generada, si es suficiente para autoabastecer a la granja, si hay excedentes y si éstos se venden.

El lodo residual se toma en cuenta como producto final y en unas alternativas para su comercialización.

Se presentaran las metodologías utilizadas para que este proyecto se logre colocar como un proyecto MDL, las posibles opciones “Línea Base” y los pasos para definir la “adicionalidad”, además de los parámetros y cálculos que demuestran la existencia de reducción de gases de efecto invernadero, con los cuales se obtienen los Certificados de Reducción de Emisiones, que serán comercializados para obtener ganancias aplicables al proyecto.

El análisis financiero nos da resultados que consideran los conceptos de Valor Presente Neto (VPN), Índice Beneficio-Costo (B/C), Tasa de Descuento, los cuales son definidos en éste capítulo.

Se presenta un ejemplo del modelo económico de cada una de las alternativas donde se podrá apreciar el VPN y el índice B/C que resulta de acuerdo a las consideraciones en los precios de la puesta en marcha de dicho proyecto y de otros aspectos que serán detallados.

## **4.1 Selección técnica y operacional de la tecnología a usar**

### **4.1.1 Selección tipo de Biodigestor**

El tipo de biodigestor que se eligió es el de estructura flexible, hecho de polietileno, material barato y fácil de transportar a zonas lejanas, de fácil reparación.

Requiere colocarse en una fosa, sobre tierra, cuidando que no haya piedras que puedan romper el polietileno. Necesita sellarse herméticamente para evitar fugas de biogás. El tiempo de vida de este material es de 15 años, sin embargo cualquier reparación debe hacerse en seco con pegamento del mismo material y esperar que seque, después de ese lapso de tiempo seguirá funcionando adecuadamente.

Para obtener el biogás es necesario aplicar una pequeña presión sobre la bolsa y el efluente se puede descargar por gravedad o con una bomba de succión.

### **4.1.2 Elecciones para destino del biogás**

Una vez que se obtiene el biogás, después de 25 a 30 días la primera carga, se puede llevar a un quemador de gas metano con ello sólo se libera el dióxido de carbono a la atmósfera. O bien se puede dirigir este gas a un proceso de limpieza que se denomina “baño” en el cual mediante químicos, se extrae el ácido sulfhídrico y el dióxido de carbono contenido en él para dejar que al motogenerador entre un gas metano casi puro.

El motogenerador entonces quema el metano, generando electricidad, y libera el gas residuo como dióxido de carbono.

### **4.1.3 Selección tipo de motor para generación de electricidad**

De acuerdo a los motogeneradores y la microturbina presentados en el capítulo anterior, se optó por elegir la marca GUASCOR, debido a parámetros importantes como, capacidad, características generales de rendimiento, disponibilidad y precio.

En un motogenerador de este tipo tenemos la ventaja de que la altura donde se ubica la granja no disminuye su rendimiento tanto como en las microturbinas. Este motogenerador es importado de Europa y solo genera energía eléctrica.

Conforme a las características de este caso en específico se requieren dos motogeneradores de 350 kW, 336 kWe a 60 Hz y 1200 RPM, con una eficiencia del 38%. Se puede optar también por elegir un solo motogenerador pero es preferible que trabajen dos al mismo tiempo, así se puede prever que si alguno se descompone el otro siga trabajando.

Se considera una baja de rendimiento por la altura de 22.5 %, por lo cual entregan alrededor de 260 kWe. Estos sistemas necesitan tableros de sincronización para su puesta en paralelo y para la conexión a la red eléctrica, en caso de venta o de respaldo a su sistema eléctrico, es decir, si hay excedentes, éstos se envían a la red pero si hay una mayor demanda que la granja no puede satisfacer, se toma energía de la red. Para evitar que se paren o alteren su funcionamiento los motores deben responder a una demanda energética mínima, pero si se les mantiene trabajando siempre a tope, esto no representa un riesgo.

Sin embargo las microturbinas americanas deben considerarse de manera importante ya que fueron diseñadas para trabajar específicamente con biogás producto de biomasa. Además como ya se vio, tiene el sistema de cogeneración, así a la par de producir energía eléctrica, se tiene obtención de calor, aplicable al aire acondicionado o a la cría de lechones, u otras aplicaciones, lo cual hace que esta maquina vaya de 33% a una eficiencia del 70 % y además contiene internamente un tablero de sincronización, por lo tanto el costo en un principio caro se amortiza. En estas microturbinas la altura afecta el rendimiento de manera más significativa por ello es importante tomar en cuenta que los valores dados de eficiencia son a nivel de mar.

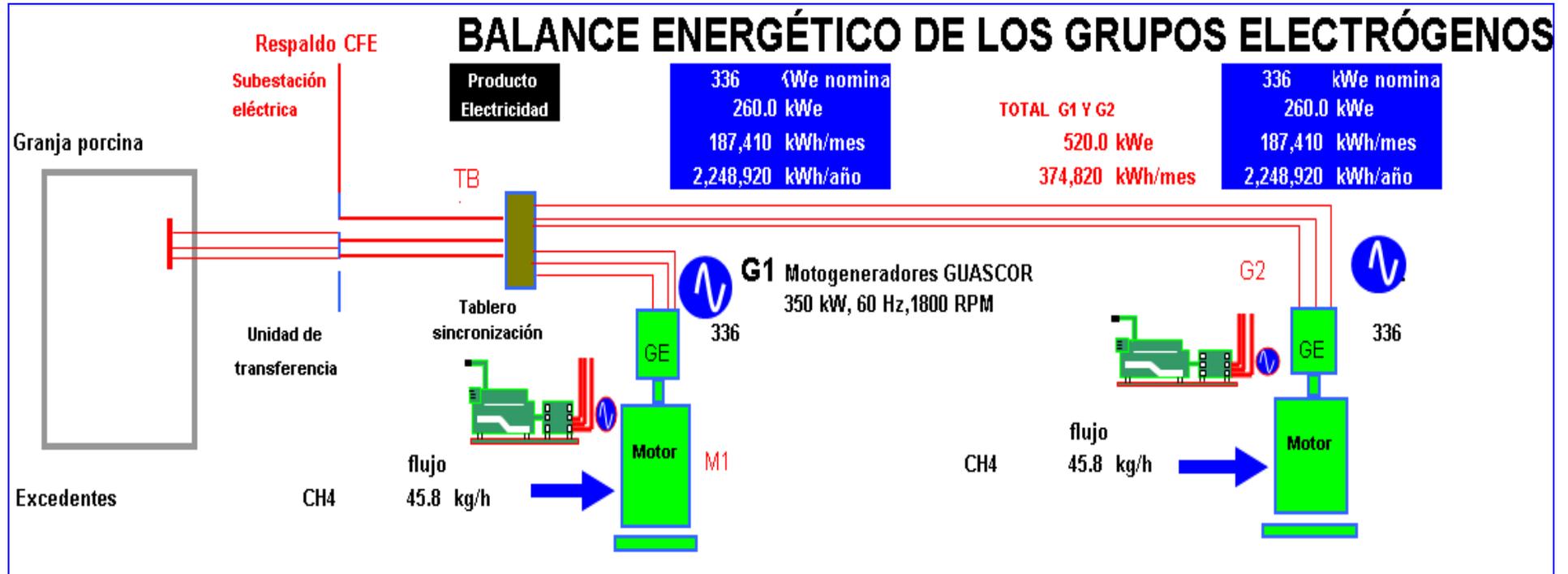


FIGURA 4.1 Esquema Balance energético de los grupos electrógenos. Elaboración propia

En la figura 4.1 se puede ver la representación esquemática de los motogeneradores elegidos.

#### **4.1.4 Otros residuos del biodigestor**

##### **4.1.4.1 Lodo residual**

El efluente, conocido como lodo residual, se utiliza ya como bioabono directamente en las tierras pertenecientes a la granja o se vende a los agricultores de las tierras vecinas.

Debido a que es rico en nutrientes no hace falta ya enriquecerlo, por lo tanto no se gasta más que para su distribución. Una característica importante a considerar es que no se puede aplicar directamente a las plantas, por su alto grado de contenido de nitrógeno, debe diluirse con cantidades apropiadas de agua, dependiendo de los requerimientos de cada planta.

##### **4.1.4.2 Hidrogeno**

A partir del metano también se puede obtener hidrógeno, que puede ser recuperado cuando se lleva a cabo el proceso de baño del biogás o simplemente liberado a la atmósfera en forma de gas, como la molécula  $H_2$ , sin contribuir a ningún daño medioambiental.

Aunque no entra dentro de los alcances de esta tesis es importante mencionar que debe seguirse su recuperación, ya que el hidrógeno como vector energético actualmente está cobrando importancia para la generación de energía eléctrica y la consecuente sustitución de combustibles fósiles.

#### **4.2 Estimación costo del proyecto en base a tecnología seleccionada**

En la tabla 4.1 se da de manera general los costos de construcción del biodigestor con los materiales y la tecnología elegida. Se contempla los costos de planeación en ingeniería y diseño. La fosa de mezclado es aquella donde se colocan las excretas recolectadas y se mezclan con agua antes de ser introducidas al biodigestor. El biodigestor incluye los precios de la renta de maquinaria para cavar la fosa y el del polietileno. El costo de manejo de gases contiene la tubería que va desde adentro del digestor hasta por donde se conduce al biogás para su quema o al motogenerador. La fosa de oxidación es donde se coloca el efluente usado como bioabono y el filtro es el sistema usado para purificar al biogás.

<b>Costos Biodigestor</b>		
		Miles de \$
#Porcinos	10,000	
Ingeniería y diseño		177
Fosa de Mezclado		95
Biodigestor		1,270
Costo del sistema de manejo de gases		127
Quemador		190
Fosa de Oxidación		147
Filtro		11
Total		2,019

*Tabla 4.1 Costos del biodigestor. Elaboración propia a partir de 1, 2, 4, 5 apartado bibliográfico*

En la Tabla 4.2 se observa cuál es el consumo promedio de una granja de 10, 000 cabezas, tomando en cuenta que es una granja semitecnificada y con una tarifa de zona agrícola, se obtiene un promedio del monto pagado por consumo de energía eléctrica.

<b>Por sustitución respecto al consumo de energía eléctrica equivalente (promedio)</b>		
		Miles de \$
Consumo de energía eléctrica	50,000 kw-h mens	
Tarifa	1.049 \$ por kw-h	
Costo promedio mensual de consumo de energía eléctrica		52
Costo promedio anual de consumo de energía eléctrica		629

*Tabla 4.2 Consumo de energía. Elaboración propia a partir de 1 y 7 apartado bibliográfico*

Con los datos de producción de biogás diarios y el motor elegido se estimo la generación de electricidad, la cantidad requerida para el autoabastecimiento de la granja y los excedentes para venta. Tabla 4.3

<b>Electricidad generada para autoabastecimiento y venta</b>	
requieren	600,000 kwh año
producen	4,560,456 kwh año
excedente	3,960,456 kwh año

*Tabla 4.3 Electricidad generada. Elaboración propia a partir de 5 apartado bibliográfico*

### 4.3 Aspectos de consideración para la venta de energía eléctrica

La producción de energía eléctrica que se tiene en este caso de estudio, permite el completo autoabastecimiento de la granja además de existir suficientes excedentes para considerar su venta.

El proceso de la venta de excedentes de energía eléctrica está regulado por la Comisión Reguladora de Energía, quién da los permisos para autoabastecimiento. La venta de excedentes debe hacerse a Comisión Federal de Electricidad, o dentro de la misma sociedad de autoabastecimiento, cumpliendo con las normas de calidad que son:

#### Calidad del suministro

- ❖ Frecuencia de interrupciones
- ❖ Duración de interrupciones
- ❖ Clientes afectados por interrupción
- ❖ Energía no suministra por interrupción

#### Calidad de la energía

- Variación de frecuencia y voltaje
- Distorsión armónica
- Depresiones de voltaje
- Desbalance de fases

En los proyectos de autoabastecimiento, el operador de la central se compromete a entregar energía a los socios de la sociedad de autoabastecimiento con estándares de calidad de energía muy elevados.

excedente	3,960,456 kwh año
VENTA	2,492,711 \$ año

*Tabla 4.4 Venta Excedentes.*

Para calcular el precio al que CFE compra la electricidad a un privado, se toman en cuenta diversos factores como:

- ✚ Ubicación del nodo eléctrico que depende de las diversas plantas generadoras de electricidad que se encuentran alrededor de éste, estimando así el precio base del costo promedio de la producción del kW-h.
- ✚ El precio de compra se castiga al porcentaje determinado por:
  - Al 80% del precio de referencia si se avisa la entrega de energía eléctrica con 15 días de anticipación.
  - Al 60% del precio de referencia si no se avisa la entrega de energía eléctrica con 15 días de anticipación

Debido a que el precio base no es información pública, se tomó la tarifa de zona agrícola como precio base y el precio final de compra se obtiene con el 60 % y 80 % de esta tarifa base. Así se obtiene los resultados de la venta de excedentes en la tabla 4.4 que serán aplicados al modelo del proyecto del biodigestor con motogenerador.

#### 4.4 Venta de bioabono

Se tomo en cuenta también en algunas alternativas el efluente producido para venta como bioabono Tabla 4.4. Hay venta de bioabono cuando se habla de Fosa de oxidación, ya que es en este lugar donde se almacena, dentro de ésta se incluyen los costos de empaquetar para su distribución que generalmente se da en las localidades vecinas.

En todas las alternativas excepto la primera se obtienen ingresos por la venta del bioabono, cuya repercusión se puede notar en los modelos ejemplos del análisis financiero que se dan más adelante.

Costos del Bioabono venta	
Costo sin IVA	\$230 TON
IVA	\$34 TON
Costo con IVA	\$264 TON
Total producción mensual	238 TON*MES
Total producción anual	2857 TON*AÑO
Total para venta	1988 TON*AÑO
Venta Total	Miles de \$ 457*AÑO

*Tabla 4.4 Costos Bioabono. Elaboración propia a partir de 6 apartado bibliográfico*

## 4.5 Metodologías

Las metodologías se deben seguir para la obtención de los Certificados de Reducción de Emisiones (CER's). Algunas ya están aprobadas por la Junta Ejecutiva, pero si no existe una que vaya de acuerdo al proyecto, se puede proponer y esperar la validación de ésta.

Esta metodología nos sirve como guía en primera instancia puesto que nos indica que pasos llevar a cabo para saber si aplica o no al proyecto, escoger un alternativa base y demostrar la adicionalidad, además de seguir las formulas para el cálculo de la reducción de emisiones antes del proyecto y una vez que se aplica el proyecto en diversas alternativas.

Las metodologías consultadas fueron las siguientes:

**AM0006:** “Reducción de emisiones de GEIs en sistemas de manejo de estiércol”.

**AM0016:** “Mitigación de GEI a partir de la mejora del sistema de gestión del estiércol animal en operaciones confinadas”.

### 4.5.1 Criterios de aplicabilidad

1. El contexto del proyecto representa granjas operando bajo condiciones competitivas de mercado
2. El sistema de manejo de los desechos, tanto del escenario de Línea Base como de la actividad de proyecto propuesta, está de acuerdo con la reglamentación vigente
3. El manejo de los residuos se realiza en condiciones confinadas
4. El tipo de animales incluye ganado bovino, ovino, porcino, equino, caprino, avícola y otros animales de granja
5. Tanto el escenario de Línea Base como la actividad de proyecto propuesta deben excluir la posibilidad de descarga de los desechos en cursos de agua naturales
6. Sistemas existentes que incluyan nuevas prácticas y/o tecnologías de gestión de residuos con la finalidad de reducir emisiones de GEI's.

### 4.5.2 Escenario “Línea Base” y Adicionalidad

En estas metodologías tanto el escenario “Línea Base” como la “adicionalidad” están determinadas por varios pasos, incluyen un análisis financiero y la identificación de las barreras de la implementación del proyecto.

#### 4.5.2.1 Posibles escenarios<sup>49</sup> de Línea Base (LB)

Se debe escoger una alternativa que será llamada “*Línea Base*” con la que se comparará la puesta en marcha del proyecto. Esta alternativa base es como se lleva a cabo el tratamiento de desechos actualmente en la ausencia del proyecto.

Por ello se describen las alternativas siguientes:

1. **Almacenamiento sólido:** los sólidos con o sin líquidos son recolectados y almacenados durante un período prolongado de tiempo con o sin drenaje
2. **Lotes secos:** en climas secos los animales se encuentran confinados en estancias sin suelo de cemento y el estiércol se deja secar antes de ser removido periódicamente
3. **Líquidos/Barros:** el estiércol es recolectado y transportado en tanques para su almacenamiento. El líquido debe almacenarse durante períodos prolongados (meses) antes ser aplicado en el campo. Para facilitar su manejo puede diluirse con agua.
4. **Laguna anaeróbica:** se caracteriza por un sistema de descarga que utiliza agua para transportar los desechos hasta las lagunas. El estiércol tiene un tiempo de residencia en la laguna de entre 30 y 200 días. El agua de la laguna puede ser reciclada como agua de carga o para regar y fertilizar tierras.
5. **Almacenamiento en pilas debajo del confinamiento de animales.** Este período puede variar y para el análisis de la LB se divide en dos categorías: menos y más de un mes.
6. **Digestor anaeróbico:** los desechos ya sean sólidos o líquidos son recolectados en un digestor y son anaeróbicamente transformados. El metano producto del proceso de digestión puede ser quemado, venteado o utilizado para la generación de energía

---

<sup>49</sup> Aunque en las metodologías se maneja el término escenarios, en esta tesis se adopta el término alternativa por ser más común en nuestro medio.

7. **Acumulación de estiércol:** los desechos acumulados son removidos luego de un período prolongado de tiempo. Este período puede variar y para el análisis de la LB se divide en dos categorías: menos y más de un mes

8. **Compostaje:** los residuos son recolectados, apilados y rotados regularmente para su aireación o colocados en un recipiente o túnel con aireación forzada

9. **Tratamiento aeróbico:** los residuos son recolectados como líquido. El residuo se somete a aireación forzada o tratado en forma aeróbica en una laguna.

#### 4.5.2.2 Adicionalidad

Pasos para identificar si el proyecto es adicional:

1. Identificar al menos dos alternativas posibles y proveer información que justifique la exclusión de los otros potenciales alternativas de LB de los sistemas de gestión de desechos de acuerdo con:
  - ✓ Restricciones legales (la alternativa debe estar de acuerdo con las regulaciones vigentes en el país)
  - ✓ Práctica histórica del manejo de desechos en la región
  - ✓ Disponibilidad de tecnologías para el tratamiento de excretas
  - ✓ Consideraciones de desarrollo de sistemas apropiados de manejo de residuos, incluyendo innovaciones tecnológicas
2. Comparativa económica de las alternativas identificadas (LB y la actividad de proyecto). Análisis financiero de las alternativas.

Para cada alternativa debe ser calculado la Tasa Interna de Retorno (IRR) ó el Valor Presente Neto (VPN) (en este análisis se adoptó el VPN y se enriqueció con el índice Beneficio-Costo (B/C)). Estos cálculos deben incluir los costos de inversión, operación y mantenimiento, ganancias generadas en cada alternativa por el tratamiento de los desechos, por la venta de fertilizantes y electricidad, así como los costos en los ahorros de electricidad. Se debe excluir las ganancias por la venta de CER's.

El proyecto es adicional si el análisis muestra que la puesta en marcha de dicho proyecto es económicamente menos atractivo, que la alternativa identificada como “Línea Base”.

### 3.- Análisis de barreras.

Después de la comparación económica, los participantes del proyecto deberán llevar a cabo un análisis de barreras, el cuál reforzará la evidencia de adicionalidad del paso dos, o proveerá evidencia extra para la adicionalidad cuando el VPN ó B/C de la alternativa “Línea Base” y el del proyecto no muestren una clara diferencia. Este análisis incluye:

- Barreras Tecnológicas. Tecnologías usadas en el proyecto, si son nacionales o si se importan.
- Barreras de Implementación del proyecto. Cualquier tipo de barreras ya sean legales o económicas que impidan llevar a cabo el proyecto aunque se demuestre los beneficios medioambientales que éste traería a la región.

#### 4.5.3 Fuentes de Emisiones

##### **Fuentes de GEIs consideradas por las metodologías en la LB y con la actividad de proyecto:**

Emisiones de Metano (GWP = 21) por la descomposición de las excretas en condiciones anaeróbicas y por la deposición de barros en condiciones anaeróbicas

Emisiones de Oxido Nitroso (GWP = 310) durante el almacenamiento y manejo en el sistema de gestión de las excretas, en la aplicación en suelos del estiércol tratado, por volatilización del nitrógeno y su deposición sobre suelos y agua.

Emisiones de Dióxido de Carbono por descomposición de excretas y por el consumo de energía eléctrica. Cambios en la demanda de energía eléctrica debidos a la actividad del proyecto

#### 4.5.4 Análisis de Reducción de emisiones

A continuación se presenta la forma de llevar a cabo el análisis para el cálculo de la reducción de emisiones de metano como de óxido nitroso y dióxido de carbono.

##### Emisiones de Línea de Base

$$\mathbf{EB = ECO_2e \text{ metano} + ECO_2e \text{ nitroso} + ECO_2 + Eelectricidad}$$

EB: emisiones base

ECO<sub>2</sub>e metano: emisiones equivalentes de metano

ECO<sub>2</sub>e nitroso: emisiones equivalentes de óxido nitroso

ECO<sub>2</sub>: emisiones dióxido de carbono

Eelectricidad: emisiones electricidad (ECO<sub>2</sub>)

##### Emisiones de la Actividad de Proyecto

$$\mathbf{EP = Edesechos + Electricidad}$$

EP: emisiones proyecto

Edesechos: emisiones de desechos (ECO<sub>2</sub>e metano + ECO<sub>2</sub>)

##### Reducción de Emisiones

$$\mathbf{ERs = EB - (EP)}$$

ERs: Emisiones reducidas

Las emisiones de metano producidas por digestión anaeróbica se determinan a partir del contenido de sólidos volátiles disponibles, velocidad de excreción, ingesta de energía total diaria, porcentaje de energía digerible del alimento (IPCC<sup>50</sup>), contenido de cenizas de la materia seca del estiércol (IPCC), densidad de energía del alimento (IPCC), del potencial máximo de producción de metano y de la temperatura ambiente

Las emisiones de óxido nitroso se estiman a partir de la excreción anual promedio de nitrógeno por cabeza y por categoría, el factor de emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O, por deposición de nitrógeno en suelo, la fracción de nitrógeno del estiércol que volatiliza como NH<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>.

En la tabla 4.5 se observan los resultados obtenidos en nuestro caso de estudio después de haber aplicado la metodología para las diferentes alternativas.

#### 4.5.4.1 Cálculo de emisiones tCO<sub>2</sub>. Caso de estudio

<b>Cálculo emisiones de tCO<sub>2</sub></b>							
	<b>Sin Proyecto</b>			<b>Con fosa y quemador</b>		<b>Con fosa y MG</b>	
CH <sub>4</sub> emitido	383,040	Kg/año	CH <sub>4</sub> emitido CH <sub>4</sub> obtenido en biodigestor	0 708,000	Kg/año Kg/año	0 708,00	Kg/año Kg/año
CO <sub>2</sub> eq.CH <sub>4</sub>	8,043	ton/año	CO <sub>2</sub> eq.CH <sub>4</sub>	2,146	ton/año	2,146	ton/año
CO <sub>2</sub> emitido	1,777	ton/año	CO <sub>2</sub> emitido	188	ton/año	188	ton/año
N <sub>2</sub> O emitido	11,520	Kg/año	N <sub>2</sub> O emitido	0	Kg/año	0	Kg/año
CO <sub>2</sub> eq.NO <sub>2</sub>	3,571	ton/año	CO <sub>2</sub> eq.NO <sub>2</sub>	0	ton/año	0	ton/año
CO <sub>2</sub> eq. Elec	242	ton/año	CO <sub>2</sub> eq. Elec	242	ton/año	0	ton/año
TOTAL CO <sub>2</sub>	13,635	ton/año	TOTAL CO <sub>2</sub>	2,576	ton/año	2,334	ton/año
Diferencia sin el proyecto				11,058	ton/año	11,300	ton/año

**Tabla 4.5 Cálculo de emisiones tCO<sub>2</sub>. Elaboración propia a partir de 1, 2, 4, 5 apartado bibliográfico**

<sup>50</sup> Estos datos son tomados de acuerdo a los publicados oficiales del IPCC.

## 4.6 Compra y venta de Certificados de Reducción de Emisiones (CERs<sup>51</sup>):

La finalidad de la obtención de los certificados de reducción de emisiones es comercializar con ellos y los posibles compradores pueden ser:

- ❖ Gobiernos de países Anexo I
- ❖ Empresas privadas de países Anexo I
- ❖ Intermediarios privados(brokers)
- ❖ Banco Mundial: fondos multilaterales

En esta libre negociación entre las partes se toma en cuenta la cantidad de CERs a comprar y la duración del contrato por lo que un factor importante es el hecho de qué pasará después de 2012.

### 4.6.1 Precio del CER

El precio del certificado de reducción de emisiones se establece dependiendo de oferta y demanda de todas las formas de Bonos de Carbono o CER que a su vez reflejan varios factores como:

- Grado de avance en el ciclo del proyecto
- Necesidad de financiamiento
- Tipo de proyecto, metodología existente
- Riesgo en la ejecución del proyecto
- Valor del EUA (Permisos de Emisión de la Unión Europea)
- Variaciones climáticas que tienen impacto en los combustibles que se utilizan en un momento dado.

---

<sup>51</sup> De aquí en adelante nos referiremos a los Certificados de Reducción de Emisiones como Bonos de Carbono. Ya que el nombre de “bonos de carbono” se ha dado como un nombre genérico a un conjunto de instrumentos que pueden generarse por diversas actividades de reducción de emisiones. Se puede decir que existen “varios tipos” de bonos de carbono, dependiendo de la forma en que éstos fueron generados: Certificados de Reducción de Emisiones (CERs), Montos Asignados Anualmente (AAUs), Unidades de Reducción de Emisiones (ERUs), Unidades de Remoción de Emisiones (RMUs).

Actualmente el precio del CER que establece el Banco Mundial se encuentra entre los 10 dólares, por ser una institución que establece un precio con un factor de riesgo muy bajo, se considera como un precio de referencia. Sin embargo se pueden negociar precios muy por encima de los 10 dólares con los intermediarios privados.

En los ejemplos del modelo económico sobre las alternativas que se hace más adelante, se contempla un precio de 10 dólares por CER. Con ello se obtiene las ganancias debidas a la reducción de emisiones a este precio, si el precio varía entonces se tendrán otras ganancias que se verán reflejadas en dicho modelo.

#### 4.7 Costes de transacción

En la Tabla 4.6 puede notarse cuales son los costes aplicados al caso de estudio para las alternativas del proyecto.

<b>Costes de transacción</b>	
	Miles de \$
<i>INICIALES</i>	
DISEÑO Y ELEGIBILIDAD	220
ELABORACIÓN	55
VALIDACIÓN	220
REGISTRO	110
TOTAL	605
<i>ANUALES</i>	
VIGILANCIA	66

**Tabla 4.6 Costes de transacción MDL. Elaboración propia a partir de 9 apartado bibliográfico**

Estos costos tienen un impacto importante en el proyecto, ya que como se ve algunos son iniciales y se consideran dentro de la inversión, pero otros deben cubrirse anualmente, entonces el tamaño del proyecto debe ser el adecuado de manera que no afecte negativamente la inclusión de los costes de transacción

## 4.8 Presentación de Alternativas

### 4.8.1 Aspectos a tomar en cuenta para las alternativas

Para comprender los resultados obtenidos debemos conocer en que consisten algunas definiciones económicas importantes, ya que explican los índices obtenidos al final de un análisis financiero y nos ayudarán a tomar importantes decisiones, entre ellas la más importante ¿Cuál alternativa ejecutar dependiendo de las condiciones que se presenten?

Para observar que tan conveniente es implantar el proyecto del biodigestor se proponen varias alternativas en las cuales se hace el análisis financiero, se muestra el Valor Presente Neto y el Beneficio/Costo, a una tasa de descuento especificada dependiendo de los factores a considerar.

#### 4.8.1.1 Valor Presente Neto (VPN)

El Valor Presente Neto (VPN) es el método más conocido a la hora de evaluar proyectos de inversión a largo plazo. . Es el valor que tendría en el momento actual el neto de todos los ingresos, gastos e inversiones que se prevé que genere en el futuro un determinado activo real.

Una empresa utiliza el VPN del ingreso futuro proveniente de la inversión que permite determinar si una inversión cumple con el objetivo básico financiero: *maximizar* el rendimiento de la inversión.” Para calcularlo, la empresa utiliza el valor presente descontado (VPD) del flujo de rendimientos netos (futuros ingresos del proyecto) tomando en cuenta una tasa de interés, y lo compara contra la inversión realizada”<sup>52</sup>.

“En este método costos y réditos futuros son convertidos o descontados en el presente. Descontar reconoce que estos costos y réditos del futuro tienen más riesgo y así no vale tanto en el dinero de hoy. La tasa de descuento usada se basa en lo que se ha establecido como una tasa aceptable de retorno por la compañía. Esta es usualmente llamada costo de capital y es a veces llamado la tasa barrera”<sup>53</sup>.

---

<sup>52</sup> Microeconomía Moderna .Miller, Roger LeRoy Ed. Harla

<sup>53</sup> <http://www.conae.gob.mx>

El VPN es pues la diferencia (flujo de caja que se evalúa a un valor presente) que existe entre los ahorros netos totales en un determinado período y la inversión neta para el mismo tiempo.

El VPN se calcula con la expresión.

$$VPN = \sum_{j=0}^n \frac{F_j}{(1+i)^j}$$

Donde:

**VPN** Valor presente neto.

**F<sub>j</sub>** Flujo de caja en el período j

**n** Número de períodos

**i** Tasa de rentabilidad

Si el valor presente descontado es mayor que la inversión, el valor presente neto será positivo significando que el total del ingreso del precio neto descontado o ahorro es mayor que los desembolsos de capital y la empresa aceptará el proyecto si el valor presente descontado fuera menor que la inversión la empresa lo rechazaría

#### 4.8.1.2 Índice Beneficio-Costo (B/C)

También llamado “índice de rendimiento”. Es un método de evaluación de proyectos, que se basa en el “valor presente”, y que consiste en dividir el valor presente de los ingresos menos gastos entre el valor presente de la inversión.

El método de beneficio-costo calcula la razón como sigue:

$$\text{Relación } B/C \approx \frac{VPNB}{VPNI}$$

Donde:

**VPNB** Valor presente neto de los beneficios.

**VPNI** Valor presente neto de la inversión.

Si el índice es mayor que 1 se acepta el proyecto; si es inferior no se acepta, ya que significa que la rentabilidad del proyecto es inferior al costo del capital.

#### 4.8.1.3 Tasa de descuento

“Los gastos en bienes de capital se hacen bajo la promesa de que al final se obtendrán más bienes de consumo de los que se lograrían con el gasto actual. El interés representa la diferencia esperada. Cuando se consideran costos y beneficios futuros es correcto el utilizar una tasa de interés apropiada que refleje el valor del dinero en el tiempo”<sup>54</sup>.

En términos de evaluación económica, cuando se trasladan cantidades del presente al futuro, se dice que se utiliza una tasa de interés, pero cuando se trasladan cantidades del futuro al presente, como en el cálculo del VPN, se dice que se utiliza una tasa de descuento debido a lo cual a los flujos de efectivo ya trasladados al presente se les llama flujos descontados. La tasa de descuento será mayor cuanto más inciertos sean los flujos de la empresa, es decir, cuanto más riesgo tengan esos flujos.

Las evaluaciones se realizaron en *pesos constantes*, sin considerar préstamos (por la dificultad de que los puedan conseguir los porcicultores) y después de impuestos. Esto significa que la tasa de descuento seleccionada representa el rendimiento mínimo que cubre el costo de fondos propios de los porcicultores y que esperan recuperar, ya después de impuestos.

---

<sup>54</sup> Decisiones Económicas, Análisis y Proyectos. Fabrycky, W.J. Ed. Prentice Hall

#### 4.8.2 Alternativa 1.-Proyecto Biodigestor con Quemador sin Fosa

La primera alternativa es el Proyecto del Biodigestor con quemador sin fosa, el cual implica la puesta en marcha del biodigestor, llevar los gases obtenidos a un quemador y usar parte del efluente para autoconsumo en zona agrícola, lo demás se almacena o simplemente no se utiliza. Tabla 4.7

Proyecto Biodigestor con Quemador sin Fosa	
<b>EGRESOS</b>	Miles de \$
Ingeniería y diseño	177
Fosa de Mezclado	95
Biodigestor	1,270
Costo del sistema de manejo de gases	127
Quemador	190
Costes de transacción	605
<b>Total 1</b>	<b>2,465</b>
vigilancia proyecto	66
consumo de energía eléctrica	629
Colección excretas	97
Mantenimiento biodigestor	50
<b>Total 2</b>	<b>842</b>
<b>INGRESOS</b>	
Ahorro Fertilizantes	200
Ahorro por multas	250
<b>Bonos de Carbono</b>	<b>1,094</b>
<b>Total con BC</b>	<b>1,666</b>
<b>Total sin BC</b>	<b>587</b>

*Tabla 4.7 Egresos e Ingresos alternativa 1. Elaboración propia a partir de 1, 2, 3, 4 apartado bibliográfico*

La Tabla 4.8 muestra el ejemplo del modelo económico de acuerdo a los costes financieros para la alternativa del Proyecto del Biodigestor con quemador sin fosa, con la obtención de BC comercializados a un precio de 10 dólares. La tasa de descuento usada es de 15 % que se considera razonable para el nivel de riesgo de este tipo de proyectos.



<b>Proyecto Biodigestor con Quemador y Fosa</b>	
<b>EGRESOS</b>	\$miles de pesos
Ingeniería y diseño	177
Fosa de Mezclado	95
Biodigestor	1,270
Costo del sistema de manejo de gases	127
Quemador	190
Fosa de Oxidación	600
Filtro	11
Costes de transacción	605
<b>Total 1</b>	<b>3,065</b>
Consumo de energía eléctrica	629
Colección excretas	97
Mantenimiento biodigestor	50
Mantenimiento fosa	4
vigilancia proyecto	66
<b>Total 2</b>	<b>847</b>
<b>INGRESOS</b>	
Ahorro Fertilizantes	200
Ahorro por multas	250
Venta de Bioabono	457
<b>Bonos de Carbono</b>	<b>1,094</b>
<b>Total con BC</b>	<b>2,001</b>
<b>Total sin BC</b>	<b>907</b>

**Tabla 4.9 Egresos e Ingresos alternativa 2. Elaboración propia a partir de 1, 2, 3, 4, 6 apartado bibliográfico**

La Tabla 4.10 muestra el ejemplo del modelo económico de acuerdo a los costes financieros para la alternativa del Proyecto del Biodigestor con quemador y fosa, con la obtención de BC comercializados a un precio de 10 dólares.

La tasa de descuento usada es de 15 %.

Biodigestor 10 Años de vida útil con Fosa								Miles de \$
Año	Inversión Total	Ingresos	Gastos Operación y Mantenimiento	Depreciación	Utilidad de Operación	Impuestos	Utilidad Después de Impuestos	Flujo Neto
0	3,065							
1		2,123	847	306	969	290	678	985
2		2,123	847	306	969	290	678	985
3		2,123	847	306	969	290	678	985
4		2,123	847	306	969	290	678	985
5		2,123	847	306	969	290	678	985
6		2,123	847	306	969	290	678	985
7		2,123	847	306	969	290	678	985
8		2,123	847	306	969	290	678	985
9		2,123	847	306	969	290	678	985
10		2,123	847	306	969	290	678	985
	VPN		\$1,880					
	B/C		1.614					

Tabla 4.10 Modelo económico alternativa 2. Elaboración propia

#### 4.8.4 Alternativa 3.-Proyecto Biodigestor con Quemador con Fosa con Motogenerador (MG) sin Bonos de Carbono (BC)

La tercera alternativa es el Proyecto del Biodigestor con motogenerador y fosa sin Bonos de Carbono. Implica la puesta en marcha del biodigestor, llevar los gases obtenidos a un motogenerador, autoabastecimiento, venta de energía eléctrica, usar el efluente para autoconsumo en zona agrícola y venta por lo cual se contempla la fosa de oxidación, donde es almacenado y empaquetado. Intervienen otros gastos como los del tablero de sincronización para los motores, así como el transformador de conexión a la red eléctrica. Tabla 4.11

<b>Costo Proyecto Biodigestor Con Motogenerador</b>	
<b>EGRESOS</b>	Miles de \$
Ingeniería y diseño	177
Fosa de Mezclado	95
Biodigestor	1,270
Costo del sistema de manejo de gases	127
Quemador	190
Fosa de Oxidación	600
Filtro	11
Costes de transacción	605
<b>Total 1</b>	<b>3,077</b>
Colección excretas	97
Mantenimiento biodigestor	50
Mantenimiento fosa	4
vigilancia proyecto	66
<b>Total 2</b>	<b>151</b>
Precio motogenerador	1,900
Transformador y tableros	1,505
Importación y transporte al lugar	15
Cuarto de generador eléctrico	30
Instalación eléctrica	251
Tablero de sincronización	800
IVA	544
<b>Total</b>	<b>5,042</b>
<b>Total 3 con 2 Motogeneradores y un tablero de sincronización para conexión a la red</b>	<b>10,896</b>
<b>Gastos de mantenimiento 2 Motogeneradores</b>	<b>100</b>
<b>INGRESOS</b>	
Ahorro Fertilizantes	200
Ahorro por multas	250
Venta de Bioabono	457
<b>Bonos de Carbono</b>	<b>1243</b>
Ahorro de energía eléctrica	629
<b>Venta Energía</b>	<b>2,492</b>
<b>Total con BC</b>	<b>5,272</b>
<b>Total sin BC</b>	<b>4,029</b>

*Tabla 4.11 Egresos e Ingresos alternativas 3 y 4. Elaboración propia a partir de 1, 2, 3, 4, 6, 7, 10 apartado bibliográfico*

Los datos aplicados al modelo económico para la alternativa tres pueden verse en la Tabla 4.12 los cuáles no dependen del precio de BC. Tasa de descuento utilizada del 15 % y la venta de energía es al 60% del valor de referencia.

Biodigestor 10 Años de vida útil con Fosa y Motogenerador sin BC								Miles de \$
Año	Inversión Total	Ingresos	Gastos Operación y Mantenimiento	Depreciación	Utilidad de Operación	Impuestos	Utilidad Después de Impuestos	Flujo Neto
0	13,972							
1		4,029	251	1,397	2,380	714	1,666	3,063
2		4,029	251	1,397	2,380	714	1,666	3,063
3		4,029	251	1,397	2,380	714	1,666	3,063
4		4,029	251	1,397	2,380	714	1,666	3,063
5		4,029	251	1,397	2,380	714	1,666	3,063
6		4,029	251	1,397	2,380	714	1,666	3,063
7		4,029	251	1,397	2,380	714	1,666	3,063
8		4,029	251	1,397	2,380	714	1,666	3,063
9		4,029	251	1,397	2,380	714	1,666	3,063
10		4,029	251	1,397	2,380	714	1,666	3,063
	VPN	\$1,402						
	B/C	1.1						

Tabla 4.12 Modelo económico alternativa 3. Elaboración propia

#### 4.8.5 Alternativa 4.-Proyecto Biodigestor con Quemador con Fosa con Motogenerador (MG) con Bonos de Carbono (BC)

La cuarta alternativa es el Proyecto del Biodigestor con motogenerador y fosa con Bonos de Carbono, es la misma que la tercera pero contando con el dinero obtenido por la comercialización de los BC.

El modelo para el análisis financiero de la alternativa cuatro se nota en la tabla 4.13 y depende del precio de BC, en este ejemplo es de 10 dólares y la tasa de descuento es de 15 %, la venta de energía es al 60% del valor de referencia.

Biodigestor 10 Años de vida útil con Fosa y Motogenerador con BC								Miles de \$
Año	Inversión Total	Ingresos	Gastos Operación y Mantenimiento	Depreciación	Utilidad de Operación	Impuestos	Utilidad Después de Impuestos	Flujo Neto
0	13,972							
1		5,272	251	1,397	3,623	1,087	2,536	3,933
2		5,272	251	1,397	3,623	1,087	2,536	3,933
3		5,272	251	1,397	3,623	1,087	2,536	3,933
4		5,272	251	1,397	3,623	1,087	2,536	3,933
5		5,272	251	1,397	3,623	1,087	2,536	3,933
6		5,272	251	1,397	3,623	1,087	2,536	3,933
7		5,272	251	1,397	3,623	1,087	2,536	3,933
8		5,272	251	1,397	3,623	1,087	2,536	3,933
9		5,272	251	1,397	3,623	1,087	2,536	3,933
10		5,272	251	1,397	3,623	1,087	2,536	3,933
	VPN			\$5,769				
	B/C			1.4				

Tabla 4.13 Modelo económico alternativa 4. Elaboración propia

## Conclusiones

En este capítulo se dieron las razones de la elección de las tecnologías de fabricación para el biodigestor así como las de selección del motogenerador.

Se mostraron los precios que lleva la implantación del Proyecto del Biodigestor para cuatro alternativas diferentes, en los cuales existen características que los hacen objeto de análisis.

Estas alternativas fueron las siguientes: Proyecto del Biodigestor con quemador sin fosa, Proyecto del Biodigestor con quemador con fosa, Proyecto del Biodigestor con motogenerador sin bonos de carbono, Proyecto del Biodigestor con motogenerador con bonos de carbono

En todas las alternativas excepto la primera se contempla la venta del efluente como bioabono. En las alternativas uno y dos el biogás no pasa por ningún filtro llegando directo al quemador, así que el metano no se aprovecha. En todas las alternativas excepto el tercero se incluye la comercialización de los BC. En las alternativas tres y cuatro se incluyen motogeneradores donde se dirige el gas metano después de pasar por el filtro, por lo tanto existe generación de energía eléctrica para autoabastecimiento y para venta.

Debido a que en la venta de energía eléctrica el precio es castigado, y además debe pasar por un proceso difícil y a veces tardío en validación, es conveniente que los excedentes de electricidad se utilicen en las zonas rurales o pueblos cercanos a la misma granja. Esto se hace creando una sociedad entre la granja y el lugar donde se pretende distribuir la energía eléctrica, con la compra-venta de una acción. Así se sigue manejando el concepto de autoabastecimiento entre la sociedad, y es muchas veces más rentable que las ganancias obtenidas por el precio de venta a CFE.

Se presentó la metodología usada, en las que se incluyen opciones para los escenarios de “Línea Base” y demostración de “adicionalidad” que serán aplicados al proyecto en el siguiente capítulo. Así también la metodología para calcular la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

Se expusieron ejemplos del modelo económico con los que se obtuvo el VPN y B/C de cada alternativa, con una tasa de descuento del 15 % y con un precio de los bonos de carbono a 10 dólares.

Sin embargo en el siguiente capítulo se verán con más detalle los índices económicos obtenidos y los resultados que nos arroja el que este precio de comercialización de BC varíe y como afecta al proyecto la tasa de descuento utilizada en las diferentes alternativas.



# Capítulo 5

## **ANÁLISIS DE RESULTADOS**



## **Capítulo 5 .ANÁLISIS DE RESULTADOS**

### **Introducción**

En el capítulo anterior se mostraron los costos y beneficios de las diferentes alternativas, así como algunos ejemplos de los resultados obtenidos al hacer un análisis financiero con un cierto tipo de tasa de descuento y a un valor específico del precio de bonos de carbono. Sin embargo para tener un análisis completo, se deben observar diversos escenarios en los cuales varíen tanto la tasa de interés como el precio de venta de la electricidad y además el precio de comercialización de bonos de carbono fluctúe para examinar como puede esto afectar al proyecto en sus diversas alternativas.

Cada alternativa se manejará en 4 diversos escenarios, que son:

- Tarifa al 60% del precio de referencia. Tasa de descuento del 15%
- Tarifa al 60% del precio de referencia. Tasa de descuento del 18%
- Tarifa al 80% del precio de referencia. Tasa de descuento del 15%
- Tarifa al 80% del precio de referencia. Tasa de descuento del 18%

Aunque los análisis económicos están sujetos a otros factores como son los impuestos, inflación e incertidumbre de la inversión, que complican los mismos, se toman en cuenta los que consideramos influyen más en el proyecto.

Se realiza también de manera gráfica la comparación de las alternativas en los escenarios tomando en cuenta el índice B/C contra la variación en los precios de los bonos de carbono. La variación de los precios en la comercialización de los bonos de carbono será de 0, 5, 10, 15 y 20 dólares.

Se lleva a cabo un análisis de la reducción de emisiones de tCO<sub>2</sub>e sin el proyecto y con las diferentes alternativas de proyecto que se puede observar de manera gráfica.

Se realiza de igual manera un análisis de barreras de inversión, legales y tecnológicas al proyecto para que se pueda considerar como MDL.

## 5.1 Análisis Financiero. Análisis de diversos escenarios para las alternativas propuestas

“El proceso de evaluar implica identificar, medir y valorar los costos y beneficios pertinentes de distintas y múltiples alternativas de proyectos para lograr los objetivos propuestos, a los efectos de establecer cuál de ellos es más conveniente ejecutar”<sup>55</sup>.

Por ello es importante realizar un buen análisis de la información obtenida a través de la emisión de juicios sobre la conveniencia de aplicar un proyecto en lugar de otros previendo diversas situaciones que pudiesen presentarse en el momento de la aplicación.

### 5.1.1 Metodología General de Análisis

Por lo tanto se analizan los resultados más relevantes obtenidos con el modelo presentado en el capítulo anterior. Se han identificado múltiples alternativas para la puesta en marcha de un biodigestor, sin embargo debemos tomar en cuenta y analizar que la variación de ciertos factores afectan a las alternativas en general y se encuentran en datos importantes como:

- ✚ **El precio de los Bonos de Carbono (BC).** Dado que representan una de las mayores fuentes de incertidumbre, para profundizar en el análisis de cada una de las alternativas se analizó un intervalo de 0 a 20, ya que con precios de BC > 20 el proyecto más rentable en todos los escenarios es el de Biodigestor sin Fosa.<sup>56</sup>
- ✚ **El ingreso por la venta de la electricidad.** Nos referiremos a ella como la tarifa a un % del precio de referencia, que establece el precio de venta.
- ✚ **El valor de la tasa de descuento.** Por considerar un nivel de riesgo mayor a proyectos de CFE, se usará un 15% y un 18%.

---

<sup>55</sup> Evaluación Social de Proyectos. Ernesto R. Fontaine

<sup>56</sup> La alternativa Biodigestor con Fosa propone una inversión de \$600,000 para la Fosa de Oxidación que se reditúa en la venta de bioabono con ganancias de \$457,000 anuales, al estar los precios de BC sobre 20 dólares, dicha inversión pierde peso en los ingresos y entonces el proyecto Biodigestor sin Fosa es el más rentable.

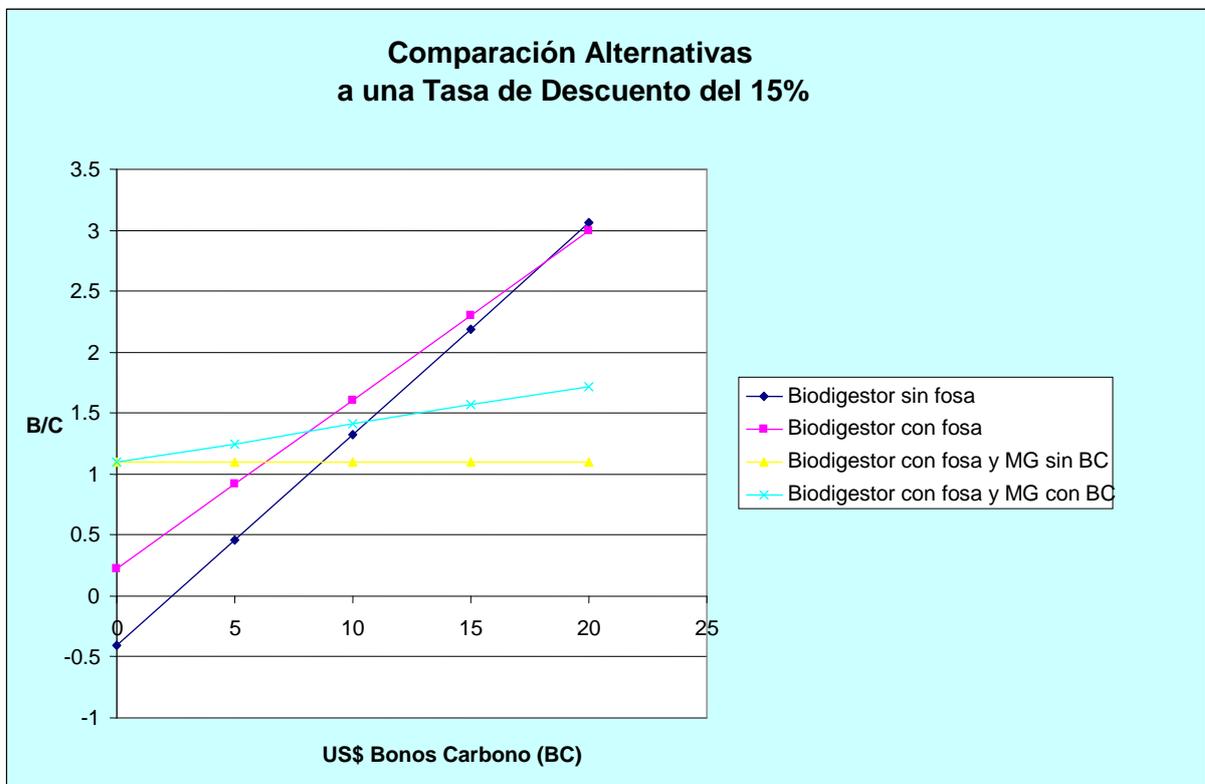
La combinación de la variabilidad de éstos factores nos dan 4 diferentes escenarios para las alternativas que son:

- ❖ Tarifa al 60% del precio de referencia. Tasa de descuento del 15%
- ❖ Tarifa al 60% del precio de referencia. Tasa de descuento del 18%
- ❖ Tarifa al 80% del precio de referencia. Tasa de descuento del 15%
- ❖ Tarifa al 80% del precio de referencia. Tasa de descuento del 18%

Para facilitar su análisis se graficó cada uno de los escenarios para cada una de las cuatro alternativas planteadas. La forma de analizarlos es primero detectar si el proyecto es MDL, viendo la relación B/C. Si se da el caso que B/C siempre este suficientemente arriba de 1, entonces no es un proyecto MDL. Después se analiza el comportamiento del índice B/C como función de los bonos de carbono

**5.1.2 Resultados de cada escenario**

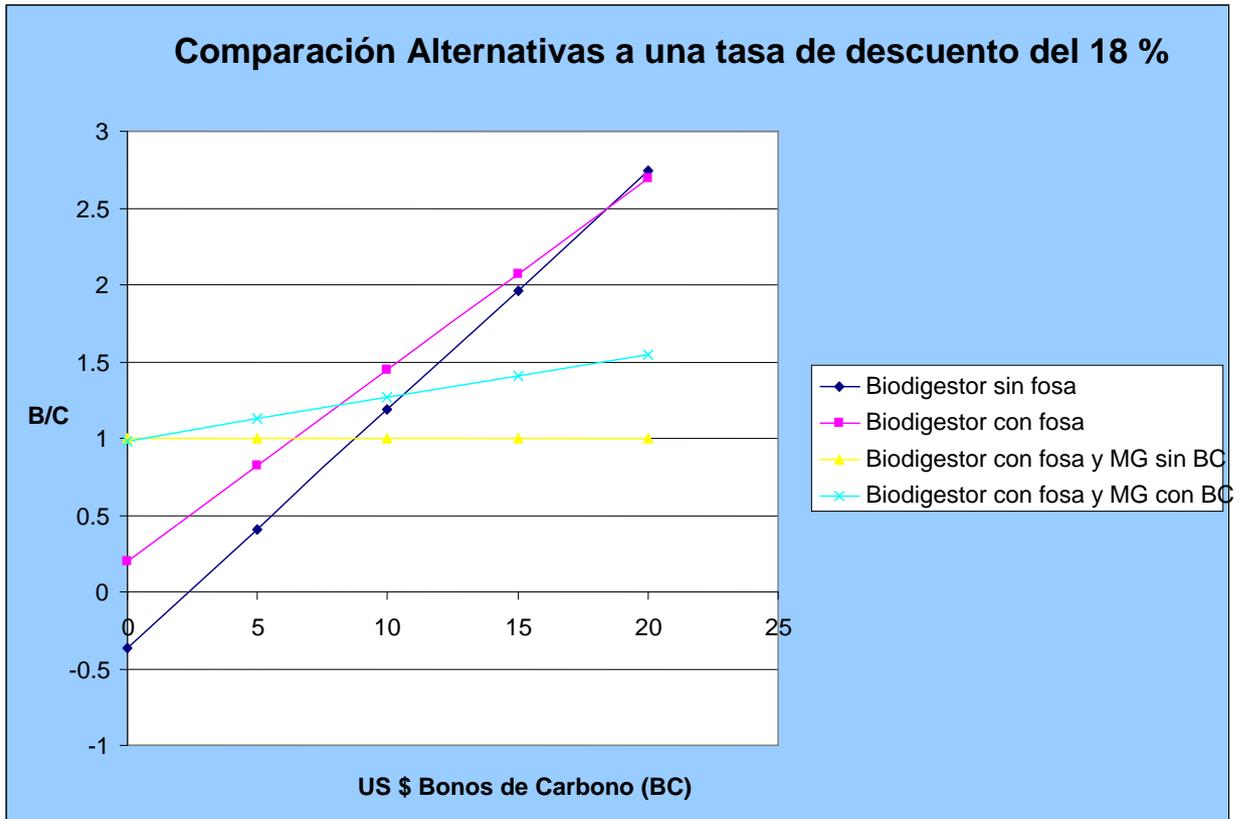
**5.1.2.1 Primer Escenario.- Tarifa al 60% del precio de referencia. Tasa de descuento del 15%**



Gráfica 5.1 Primer escenario.

- i. Se desecha la alternativa Biodigestor con fosa y MG sin BC porque el índice  $B/C = 1.1$  demuestra que es un proyecto en sí rentable, por lo tanto no sería adicional a menos que hubiese algunas otras barreras. Esto también descarta la alternativa Biodigestor con fosa y MG con BC ya que no es MDL.
- ii. Si se previera que  $BC < US \$6.34$  durante la vida del proyecto el Biodigestor con fosa y MG sin BC sería el más rentable, con un índice  $B/C = 1.1$
- iii. El proyecto del Biodigestor con Fosa sin MG es el más conveniente en la medida que los precios de Bonos de carbono sean iguales o mayores a US \$6.34 dólares, ya que el índice  $B/C$  resulta  $> 1.1$
- iv. **Conclusión General de este escenario.** Como sería de esperarse que los precios de los BC no serán menores a US \$6.34, el proyecto Biodigestor con fosa es el mejor y el riesgo asumido es relativamente bajo.

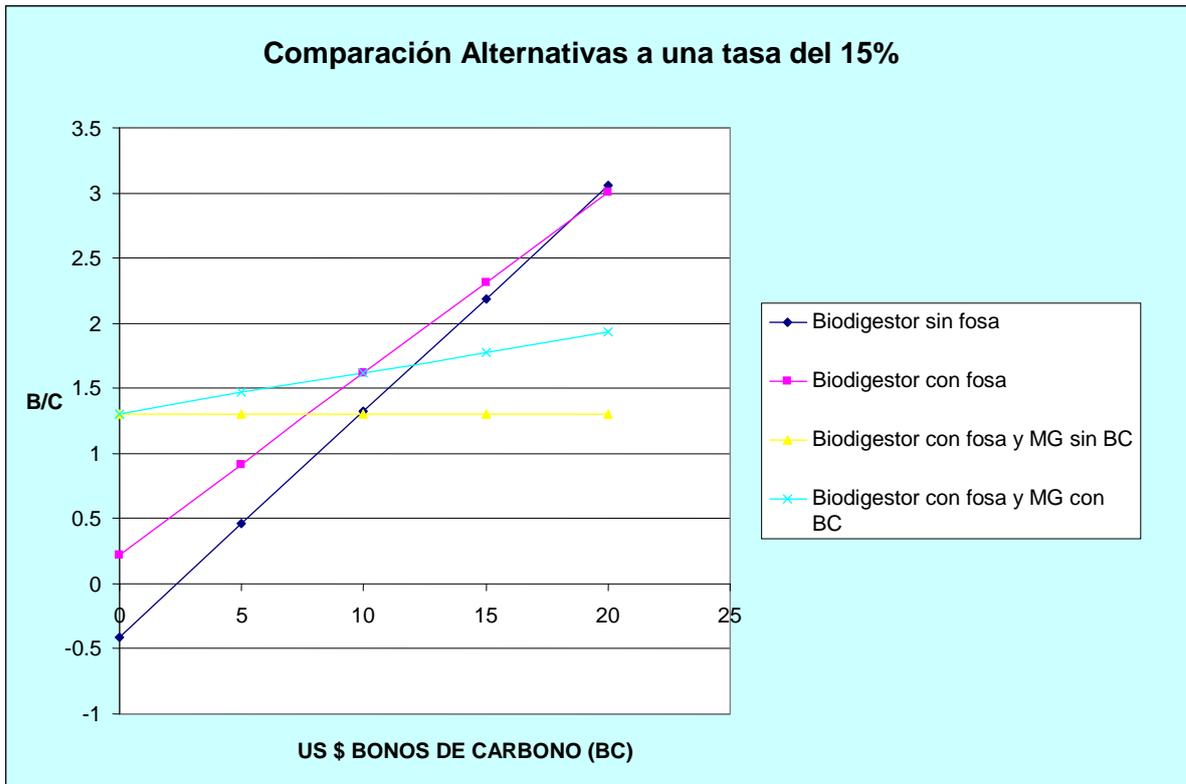
**5.1.2.2 Segundo Escenario Tarifa al 60% del precio de referencia. Tasa de descuento del 18%**



Gráfica 5.2 Segundo escenario.

- i. El Proyecto de Biodigestor con Fosa y MG podría ser MDL porque sin BC es marginalmente rentable.
- ii. Si  $BC < US \$8.3$  el Proyecto de Biodigestor con Fosa y MG puede ser registrado como MDL y es el más rentable.
- iii. Si  $BC > US \$8.3$  el Proyecto de Biodigestor con Fosa sin MG es el más conveniente.
- iv. **Conclusión General de este escenario** En este caso se recomienda el Proyecto de Biodigestor con Fosa, porque aunque los precios de BC pueden estar creíblemente abajo de US \$8.3, consideramos que es más probable que los precios de BC sean  $> US \$8.30$  y por lo tanto este proyecto es menos riesgoso.

**5.1.2.3 Tercero Escenario Tarifa al 80% del precio de referencia. Tasa de descuento del 15%**

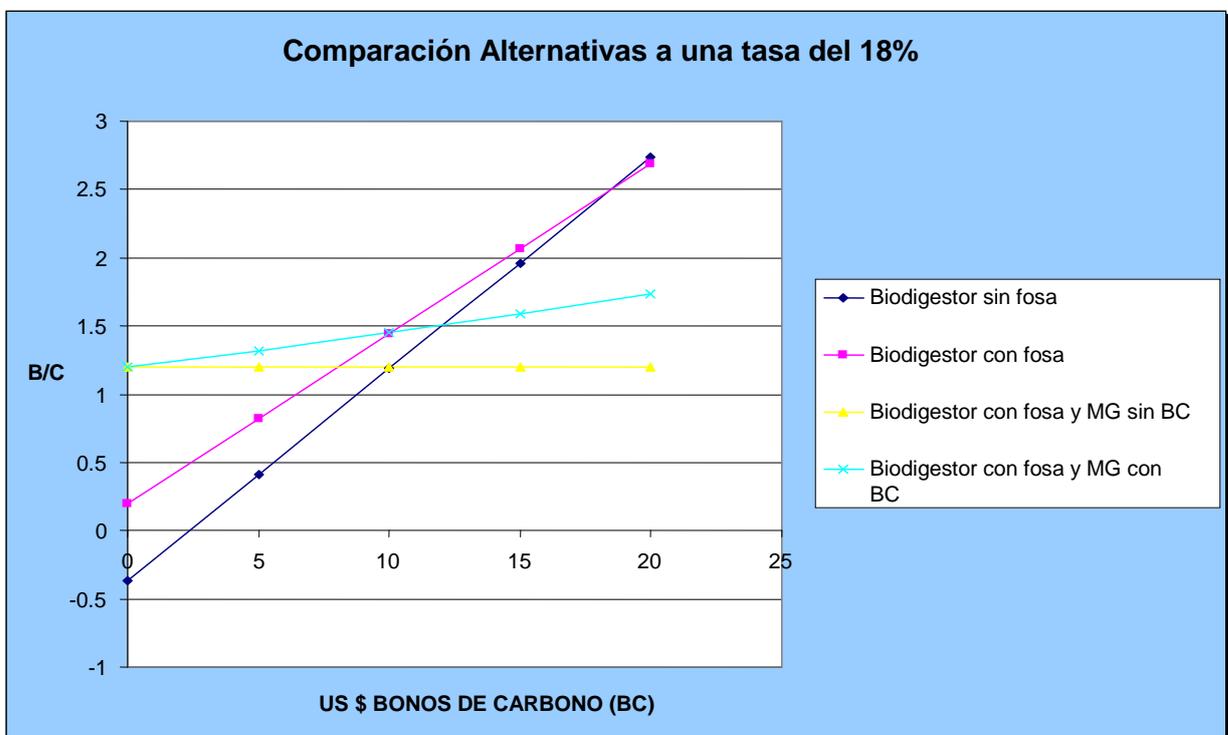


Gráfica 5.3 Tercer escenario.

- i. El Proyecto de Biodigestor con fosa y MG no es MDL.

- ii. Para precios esperados de BC < US \$7.74 el Proyecto de Biodigestor con fosa y MG (sin tomar en cuenta BC), es el más rentable, porque el rendimiento es muy bueno B/C =1.3. A diferencia del primer escenario, lo que hace más rentable y más interesante el proyecto son los ingresos por venta de energía al 80% del precio de referencia.
- iii. Con precios BC > US \$7.74 el proyecto Biodigestor con fosa sin MG es el más conveniente.
- iv. **Conclusión General de este escenario** En este caso se recomienda el Proyecto de Biodigestor con Fosa, porque aunque los precios de BC pueden estar creíblemente abajo de US \$7.74, consideramos que es más probable que el precio de los bonos de carbono sean > US \$7.74 entonces ya no se complementa con MG porque de por sí el proyecto es muy rentable y por lo tanto este proyecto es menos riesgoso.

**5.1.2.4 Cuarto Escenario Tarifa al 80% del precio de referencia. Tasa de descuento del 18%**



Gráfica 5.4 Cuarto escenario.

- i. El Proyecto de Biodigestor con fosa y MG no es MDL.

- ii. Si los precios de BC < US \$8.04 se recomienda el Proyecto de Biodigestor con fosa y MG (sin tomar en cuenta BC), ya que es el más rentable, con un rendimiento de  $B/C = 1.2$ .
- iii. Con precios  $BC > US \$8.04$  el Proyecto de Biodigestor con fosa es el más conveniente.
- iv. **Conclusión General de este escenario** Con una tasa de descuento del 18% el proyecto es más riesgoso y como se descuentan los flujos de caja en el futuro a una tasa mayor los beneficios son menores que los beneficios a una tasa del 15%. En este caso se recomienda el Proyecto de Biodigestor con Fosa, porque aunque los precios de BC pueden estar creíblemente abajo de US \$8.04, consideramos que es más probable que los precios de BC sean  $> US \$8.04$  y por lo tanto este proyecto es menos riesgoso.

### 5.1.3 Resultado General del Análisis Financiero

El resultado general del análisis llevado a cabo nos indica que en el rango de costos de bonos de carbono de 0 a 20 el Proyecto Biodigestor con Fosa es el más rentable. Conviene recordar que la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero se logra en buena medida debido a que el gas metano que se emitiría a la atmósfera sin el proyecto, en caso de realizarlo se debe invertir en el quemador para convertir el gas metano en  $CO_2$ , con lo que se logra reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

Parecería paradójico que estos proyectos sean preferibles sin el equipo para que los porcicultores generen su propia electricidad y que el gas metano se quemara sin aprovecharlo para producir energía. Hay que recordar que para completar las instalaciones del proyecto Biodigestor con Fosa y Motogenerador se necesitan alrededor de 10 millones adicionales. Sin embargo desde el punto de vista económico es defendible que se elijan los proyectos de Biodigestor con Fosa y sin MG, porque estos proyectos tienen rentabilidades muy altas.

Desde el punto de vista de la asignación de recursos escasos es defendible que haya señales económicas que promuevan las instalaciones de Biodigestor con Fosa pero sin motogenerador porque eso daría señales para emprender más proyectos de este estilo, en vez de distraer recursos hacia el motogenerador. Si bien se utiliza el metano en la generación de electricidad y por lo tanto desplaza el uso de combustibles fósiles, impactando en la de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, los recursos – inversión – dedicados a biodigestores con fosa tendrían un mayor impacto en la reducción de dichas emisiones.

En el ejercicio mostrado se tomó en cuenta los ahorros por consumo de energía eléctrica de la granja y los ingresos por la posible venta de energía adicional excedente. Si la rentabilidad del proyecto de Biodigestor con fosa y Motogenerador es suficientemente alta se pueden absorber los costos de la factura eléctrica.

Esta conclusión puede cambiar si la granja está localizada en un lugar aislado o que el tendido de la red sea demasiado alto. Entonces debería actualizarse este estudio tomando en cuenta esas particularidades y la conclusión podría ser que sea más rentable invertir en el Proyecto de Biodigestor con Fosa y Motogenerador, además de pensar en sistemas de cogeneración para darle mayor valor al proyecto.

## **5.2 Análisis de Resultados Reducción de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero**

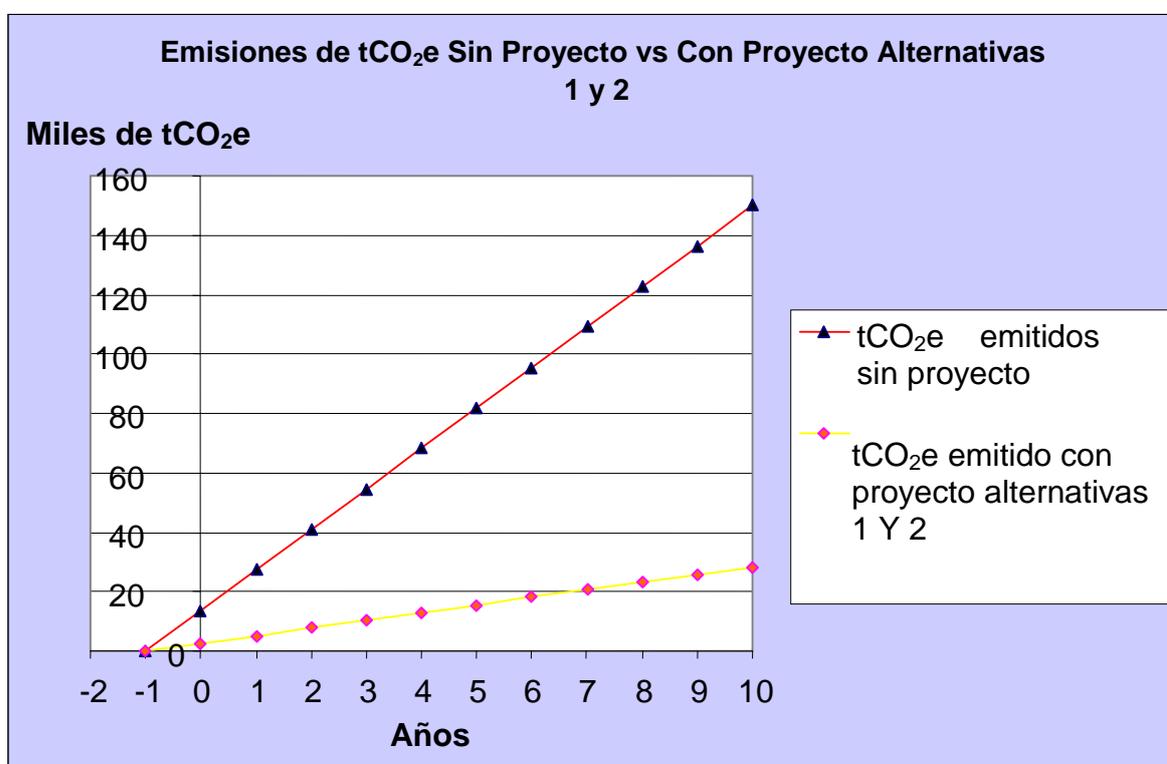
A continuación se nota cómo las emisiones antropogénicas del gas de efecto invernadero serán reducidas por la actividad propuesta del proyecto, incluyendo porque las reducciones de emisión no ocurrirían en la ausencia de la actividad en propuesta del proyecto.

### **5.2.1 Emisiones de tCO<sub>2</sub>e Sin Proyecto vs Con Proyecto Alternativas 1 (Biodigestor sin fosa) y 2 (Biodigestor con fosa y sin MG)**

Los gases antropogénicos de efecto invernadero, **CH<sub>4</sub>**, **N<sub>2</sub>O** y **CO<sub>2</sub>** como ya se analizó en capítulos anteriores, se emiten a la atmósfera vía la descomposición del abono animal. Actualmente, estos gases no se recogen ni se destruyen. La actividad propuesta del proyecto se prepone cambiar prácticas actuales de tratamiento. Estos cambios darán

lugar a la recuperación de las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero, controlando los procesos de la descomposición del biodigestor, recogiendo y quemando el biogás del metano.

Lo anterior se muestra en la gráfica 5.5 que corresponde a la tabla 5.5 donde se puede observar la diferencia entre las emisiones de tCO<sub>2</sub>e sin aplicación del proyecto, es decir como están actualmente y si el proyecto del biodigestor en las alternativas 1 y 2 es aplicado, es decir si se quema el gas metano obtenido. La diferencia entre aplicarlo y no son alrededor de 11,059 tCO<sub>2</sub> por año.



Gráfica 5.5 Emisiones de tCO<sub>2</sub>e Sin Proyecto vs Con Proyecto Alternativas 1 y 2

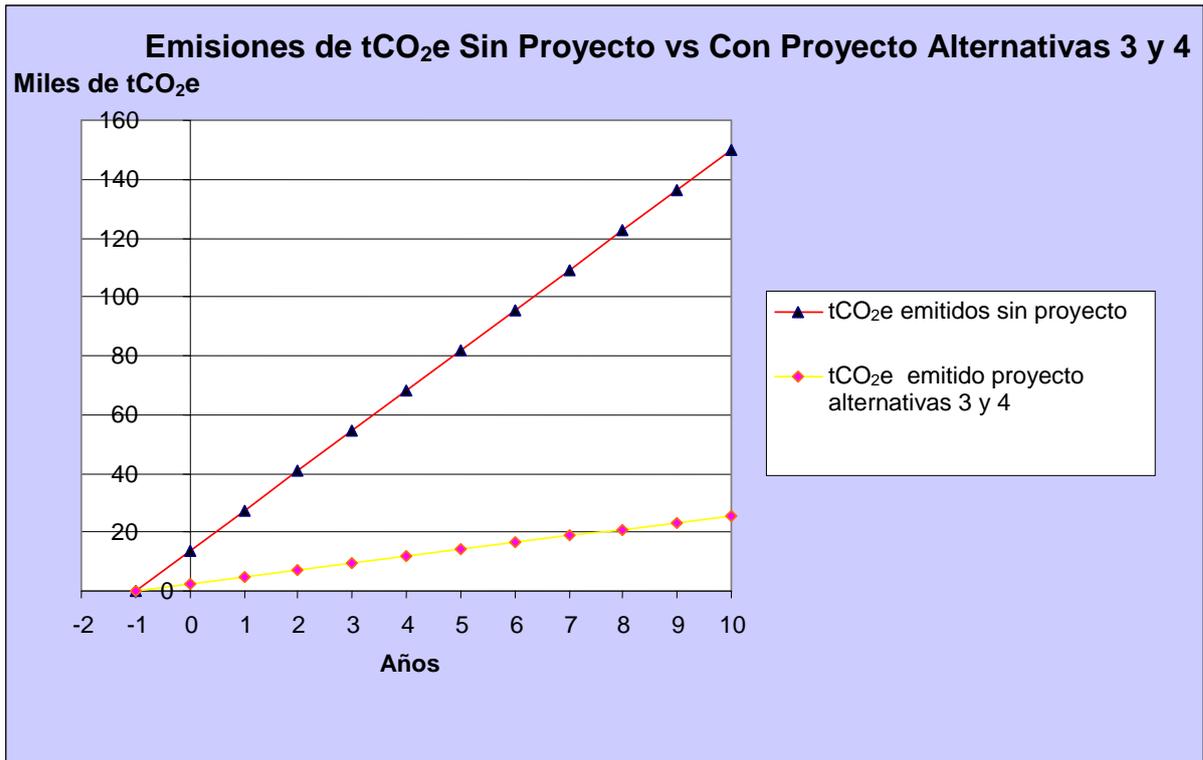
Año	Miles de tCO <sub>2</sub> e Emitido sin Proyecto	Miles de tCO <sub>2</sub> e Emitido con Proyecto Alternativas 1 Y 2
-1	0	0
0	13.635	2.576
1	27.270	5.152
2	40.905	7.728
3	54.540	10.304
4	68.175	12.880
5	81.810	15.456
6	95.445	18.032
7	109.080	20.608
8	122.715	23.184
9	136.350	25.760
10	149.985	28.336

*Tabla 5.1 Emisiones de tCO<sub>2</sub>e Sin Proyecto vs Con Proyecto Alternativas 1 y 2.*

### 5.2.2 Emisiones de tCO<sub>2</sub>e Sin Proyecto vs Con Proyecto Alternativas 3 (Biodigestor con fosa y MG sin BC) y 4 (Biodigestor con fosa y MG con BC)

Nuevamente se propone cambiar prácticas actuales de tratamiento para descomposición del abono animal que genera gases antropogénicos de efecto invernadero, **CH<sub>4</sub>**, **N<sub>2</sub>O** y **CO<sub>2</sub>** los cuáles no se recogen ni se destruyen. La actividad propuesta del proyecto de biodigestor en sus alternativas 3 y 4 propone la recuperación de las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero, controlando los procesos de la descomposición del biodigestor, recogiendo biogás del metano y generando electricidad que se utiliza en el autoabastecimiento para la granja y venta de excedentes.

La gráfica 5.6 corresponde a la tabla 5.6 donde se puede observar la diferencia entre las emisiones de tCO<sub>2</sub>e sin aplicación del proyecto y si el proyecto del biodigestor en las alternativas 3 y 4 es aplicado, es decir si el gas metano obtenido es usado para generar electricidad y venta. La diferencia entre aplicarlo y no son alrededor de 11,300 tCO<sub>2</sub> por año.



Gráfica 5.6 Emisiones de tCO<sub>2</sub>e Sin Proyecto vs Con Proyecto Alternativas 3 y 4.

Año	Miles de tCO <sub>2</sub> e Emitido sin Proyecto	Miles de tCO <sub>2</sub> e Emitido con Proyecto Alternativas 3 Y 4
-1	0	0
0	13.635	2.334
1	27.270	4.668
2	40.905	7.002
3	54.540	9.336
4	68.175	11.670
5	81.810	14.004
6	95.445	16.338
7	109.080	18.672
8	122.715	21.006
9	136.350	23.340
10	149.985	25.674

Tabla 5.2 Emisiones de tCO<sub>2</sub>e Sin Proyecto vs Con Proyecto Alternativas 3 y 4.

### **5.3 Análisis de barreras**

#### **5.3.1 Barreras de inversión**

El proyecto del biodigestor es uno de los sistemas más avanzados de tratamiento de estiércol animal del mundo. Algunos países han implantado tal tecnología debido a los altos costes implicados en la inversión comparada a otros sistemas disponibles.

Los productores mexicanos del cerdo hacen frente a los mismos desafíos económicos que granjeros en otras naciones debido a la producción mundial creciente y a los márgenes de funcionamiento bajos. Los dueños de la granja se interesan en lo principal que es deshacerse de los desechos animales, que descargan sobre los ríos. Establecer un sistema de tratamiento como el biodigestor en sus alternativas 1 y 2 requiere una inversión que para la mayoría de los granjeros no es justificable y las ventajas del olor, los realces potenciales de la calidad del agua, los ahorros en el bioabono, la mejora en la calidad del aire, son raramente tomados en cuenta para ejecutar un proyecto de biodigestor a menos que la actividad del proyecto cause al productor que los medios (parcialmente) compensan el coste del cambio de la práctica vía la venta de los bonos de carbono.

Los productores no pueden costear un sistema de tratamiento tan caro como lo es en las alternativas 3 y 4 cuando se incluye al motogenerador debido a una inversión de 10 millones de pesos como etapa que esté fuera del proceso de producción por lo tanto no hay financiamiento y la dificultad de ser emprendidos es muy grande.

No existen incentivos fiscales de parte del gobierno e incluso los bancos han sido poco dispuestos financiar tales proyectos si hay garantías con enorme riesgo.

#### **5.3.2 Barrera Legales.**

No existen normativas ni regulaciones mexicanas en materia de tratamiento de desechos de granjas porcinas como tal para la puesta en práctica de esta actividad del proyecto por estas granjas.

La legislación únicamente establece los parámetros de la calidad del agua que requieren que los abastecimientos de agua estén protegidos contra la contaminación, pero no existe ninguna legislación que indique que se requiere el tratamiento específico del abono de los cerdos mientras que se relaciona con la emisión de gases de efecto invernadero.

### **5.3.2.1 Normas existentes. La Norma Ambiental NOM-001**

En enero de 1997 se publica la NOM-001 y en diciembre de ese mismo año, las modificaciones a la Ley de Ingresos donde se establece el pago de un derecho por rebasar los límites máximos permisibles de la norma.

El objetivo de la NOM-001 es proteger la calidad de las aguas y bienes nacionales, revertir su deterioro y posibilitar los usos posteriores del agua. Regula el cuerpo receptor (no la actividad que realiza la descarga) y establece, para todas las actividades, los mismos límites máximos permisibles (LMP) para 20 parámetros de contaminación en función del tipo de cuerpo receptor y del uso posterior del agua: riego agrícola, abasto público urbano, explotación pesquera, navegación, recreación y otros.

Es gradual con tres plazos de cumplimiento (1° de enero de 2000, 2005 y 2010) según la carga contaminante medida en toneladas-día (más de 3.0, entre 1.2 y menos de 1.2) de Sólidos Suspendidos Totales (SST) o Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). Su cumplimiento se asocia al pago de un derecho.

El monto del derecho dependerá de tres factores:

- 1) De la magnitud de 16 de los contaminantes establecidos en la norma y por los cuales la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua (LFDMA) establece un pago,
- 2) Del volumen de agua utilizado y
- 3) Del tipo de cuerpo receptor.

En realidad, el monto del derecho va a depender de la eficiencia en el manejo de la granja y de la eficiencia del sistema de tratamiento. Las granjas con más de 833 vientos<sup>57</sup>, consideradas grandes desde el punto de vista ambiental, que no cumplieron con los LMP de la norma el 1° de enero del 2000, en teoría tendrían que estar pagando el derecho correspondiente.

Las normas van asociadas a una sanción que es el pago de un impuesto, un derecho o además una multa, como un medio para obligar su cumplimiento.

En granjas grandes se tendrá que pagar un derecho a pesar de haber invertido en un sistema de tratamiento, cuando en alguno de los 16 parámetros la norma 001. Si la granja descarga a un cuerpo receptor, lo más probable es que se tenga que pagar por rebasar los LMP de SST, DBO o por nitrógeno (N) LMP. Si la granja grande descarga a un terreno propio para riego agrícola, tendrá que pagar un derecho por rebasar el límite máximo permisible para los coniformes fecales (CF).

### 5.3.3 Barreras Tecnológicas

Los Biodigestores obedecen al tamaño y volúmenes de efluentes constantes con la extracción de la mayoría o todo el metano del abono. Estos sistemas llegan a ser progresivamente más costosos mientras más chicos sean, dependen entonces de la población de los animales, es decir, tamaño de la granja.

Por otra parte, las operaciones y los requisitos de mantenimiento implicados con esta tecnología, incluyendo un programa de supervisión detallado para mantener niveles de funcionamiento de sistema, deben también ser considerados. Existen experiencias por todo el mundo que nos indican que pocos biodigestores han alcanzado operaciones exitosas y por lo tanto el pago de la deuda debido sobre todo a las operaciones inadecuadas y el mantenimiento de largo plazo.

Aunque existen los materiales disponibles en el país para implementar las alternativas 1 y 2, no es así con las alternativas 3 y 4 ya que los motogeneradores y microturbinas y

---

<sup>57</sup> Se estima que este tamaño de granja produce más de tres toneladas al día de sólidos suspendidos totales

materiales necesarios para la producción de electricidad tienen que ser importados ya sea de Estados Unidos o de Europa, lo cuál hace que se dependa del mantenimiento extranjero puesto que no se tienen gentes capacitadas ni refacciones para tales tecnologías extranjeras.

#### **5.3.4 Conclusión sobre el Análisis de Barreras**

En México la gestión en los desechos agrícolas durante muchos años ha sido sobre el desagüe en ríos o almacenamiento y uso para campos agrícolas. No hay expectativas que indiquen que la legislación mexicana requerirá el uso futuro de los biodigestores como obligación para el tratamiento de desechos debido a las inversiones significativas requeridas

Además de lo anterior, las barreras descritas impiden que el proyecto forme parte de la línea base y por lo tanto son adicionales y MDL si el B/C de estos proyectos son menores a 1.

Es decir que a no ser por el apoyo obtenido de fuentes externas como lo son los BC que se reconozcan por calificar como proyectos MDL los biodigestores difícilmente serían implantados por los porcicultores.

## CONCLUSIONES

Hemos realizado diferentes análisis durante este capítulo que incluyen:

✚ Análisis financiero de los resultados obtenidos, los cuales nos indican índices de beneficio costo, tasas de descuentos y variación en el precio de venta de la electricidad. Con ellos establecimos cuatro escenarios con las combinaciones de variación de éstos parámetros en los cuales las conclusiones obtenidas fueron:

- Tarifa al 60% del precio de referencia. Tasa de descuento del 15%  
A partir de 6.34 dólares el proyecto del Biodigestor con Fosa es el más rentable.
- Tarifa al 60% del precio de referencia. Tasa de descuento del 18%  
El Proyecto de Biodigestor con Fosa y MG sería MDL ejecutarlo sí el BC esta por debajo de 8.3 dólares y si no entonces el proyecto con Biodigestor y fosa
- Tarifa al 80% del precio de referencia. Tasa de descuento del 15%  
El Proyecto de Biodigestor con Fosa y MG es de por sí un proyecto muy rentable tiene índices de B/C=1.3, el proyecto no es adicional por lo tanto ni MDL, así que se aplica como un proyecto de inversión cualquiera.  
Realizar el proyecto de Biodigestor con fosa mientras el precio de BC sea mayor a 7.74 dólares.
- Tarifa al 80% del precio de referencia. Tasa de descuento del 18%  
Ya que el riesgo que se asume con esa tasa de descuento es alto, a partir de que el precio de BC sea de 8 dólares se debe emprender el Biodigestor con fosa.  
Mientras que si los BC están por debajo de 8 dólares deberá implementarse el Proyecto de Biodigestor con Fosa y MG cuyo índice de B/C=1.2, el proyecto no es ni MDL y poco atractivo para los inversionistas, así que si queremos aplicarlo como un proyecto de inversión cualquiera, hay que preocuparse por maximizar las ganancias de otras maneras que no incluyen bonos de carbono, se puede considerar la instalación de un sistema de cogeneración para ello.

- ✚ Análisis de Reducción de Gases de Efecto Invernadero.
  - ✓ Se mostró que existe en la aplicación de todas las alternativas de proyecto en sus diferentes escenarios una reducción de emisiones importante que acumulan durante toda la vida del plan, que incluye la quema de metano 121,649 tCO<sub>2</sub>e y cuando se autoabastece a la granja con electricidad de 124,311 tCO<sub>2</sub>e.
  
- ✚ Análisis de barreras, compuesto a su vez por:
  - ❖ Barreras de Inversión  
Debido a los riesgos de recuperación de capital y a las fuertes inversiones en el caso del uso de motogeneradores.
  
  - ❖ Barreras Legales  
Debido al poco interés por parte de las autoridades hacia programas de incentivos en el sector ganadero que lleven a políticas de mejoramiento en el tratamiento de desechos.
  
  - ❖ Barreras Tecnológicas  
Sobre todo en la poca experiencia en el uso de los biodigestores y la falta de capacitación de gente que maneje los motogeneradores de importación, así como su mantenimiento y buen funcionamiento.

De acuerdo a los análisis descritos se concluye que el proyecto es por lo tanto considerado como MDL, mientras existan índices que indiquen que el beneficio costo es menor a la unidad o que son poco atractivos para una inversión financiera.

El tratamiento de los desechos con sistemas como los biodigestores en granjas localizadas en países en vías de desarrollo, ayuda a éstas a un progreso de manera sostenible no sólo por los ingresos gracias a los bonos de carbono sino por los beneficios medioambientales. Los proyectos de biodigestor benefician entonces tanto a los porcicultores como a los países anexo I del PK para el cumplimiento de los acuerdos de reducción de emisiones y en general a la humanidad por la disminución de gases de efecto invernadero.



CONCLUSIONES

GENERALES



## CONCLUSIONES GENERALES

El cambio climático es un hecho innegable y las emisiones de gases de efecto invernadero provocadas principalmente por las actividades humanas son responsables del calentamiento global.

La mayoría de los estudios (IPCC), arrojan predicciones que dicen que esperamos resultados peores acerca del aumento significativo en las concentraciones de CO<sub>2</sub> así como en la temperatura media de la superficie del planeta y del nivel del mar durante este siglo.

El calentamiento global tiene consecuencias ambientales y socioeconómicas mundiales que afectan por igual a todos los países de la tierra, tanto desarrollados como subdesarrollados. Dentro del acrecentamiento de éste panorama se espera que los impactos del cambio climático recaigan de mayor manera sobre los países en desarrollo y las poblaciones más desfavorecidas, por lo tanto, que se profundicen aún más las desigualdades en cuestiones como la salud, el acceso a alimentos, agua potable, entre otros recursos vitales.

En general si se pretende continuar con los patrones de uso de energía en el esquema en el cual predomina la producción de energéticos con combustibles fósiles (gas, carbón, petróleo), los consumos en transporte y en recursos naturales que han prevalecido durante las últimas décadas, los desastres medioambientales serán más grandes y los cambios se incrementarán a un mayor ritmo.

Por esta razón la reducción de las emisiones de GEI podría retrasar y reducir los daños asociados con el cambio climático. Sin embargo lo más preocupante es que, aún con los esfuerzos que se desarrollen para disminuir las concentraciones de GEI, los impactos se seguirían sintiendo durante muchos años, ya que gran cantidad de las sustancias emitidas tienen una vida de cientos de miles de años en la atmósfera.

El PK compromete a algunos países a reducir emisiones en un porcentaje del total de gases de efecto invernadero a los países desarrollados y a los países en transición (conocidos dentro de la CMNUCC como las Partes del Anexo I,) para alcanzar

objetivos cuantificados de reducción de emisiones, durante el periodo 2008-2012 que es el primer periodo de compromiso.

El PK estableció mecanismos para ayudar a los países desarrollados y a países pertenecientes al Anexo I en el logro de sus objetivos: comercio de emisiones, la implementación conjunta de proyectos de reducción de emisiones entre Partes del Anexo I, y Mecanismo para el Desarrollo Limpio (MDL) que permite la ejecución de proyectos de reducción de emisiones en las partes que no pertenecen al Anexo I.

Se identifica que los gases de efecto invernadero de mayor impacto son: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, debido a su índice de potencial de calentamiento (GWP), sobre los cuales una vez que se detectan las fuentes que los generan ubicadas en los países subdesarrollados, pueden trabajarse en sistemas de mejoras que conllevarán a un decremento de tales gases, aprovechando así estos mecanismos como oportunidades que no solo contribuyen a reducir las emisiones de GEI sino que también garantizan el desarrollo sostenible de países tercermundistas.

En México una de las fuentes principales de generación de gases de efecto invernadero son los desechos en el sector agropecuario, y dentro de éste los desechos de las granjas porcinas debido a la producción masiva de carne de cerdo localizadas en ciertos estados de la república, y que tiende actualmente a un incremento por la demanda que se está dando para el abastecimiento alimenticio de la población.

Es por ello que se propone la utilización de biodigestores para el tratamiento de excretas en granjas porcinas. Este sistema basado en la fermentación anaeróbica de los desechos, proporciona biogás y lodo residual. Con los biodigestores se puede capturar el gas metano y quemarlo con el resultado de una reducción de emisiones GEI.

El estudio realizado en esta tesis se basa en diversos aspectos que complementan al biodigestor como el establecimiento de una Fosa de Oxidación y la utilización de

motogeneradores para la producción de electricidad, con lo que obtenemos alternativas diferentes para la implementación del proyecto.

En las 4 alternativas que se concibieron se realizó un análisis técnico-económico que nos da a conocer los egresos e ingresos del proyecto, durante un período de 10 años, evaluando de ésta manera la conveniencia o no de aplicarlas bajo circunstancias tales que garanticen la eficacia de la implementación de manera económica así como en lo que respecta a la reducción de emisiones de GEI.

Para profundizar en los resultados del análisis financiero se consideraron variaciones de la tasa de descuento, las tarifas para la venta de energía eléctrica y los ingresos según los precios de los bonos de carbono sí es que éstos aplican al proyecto.

En primer lugar la variación en la tasa de descuento aplica a todos los proyectos y aunque para proyectos gubernamentales es de un 12 % debido a los bajos riesgos que se asumen, en estos proyectos particulares el riesgo asumido es más alto por lo cual se investigan tasas de descuento del 15% y 18%.

Sí el proyecto califica como MDL entonces aplica una estimación en los precios de los bonos de carbono. Se tomó un rango de 0 a 20 dólares, ya que son precios realistas de variación que se dan actualmente dependiendo del organismo con el que se haga la transacción, por ejemplo, el banco mundial maneja precios que oscilan alrededor de 10 dólares por tonelada de CO<sub>2</sub>e.

Sí en el proyecto se pretende autoabastecimiento eléctrico para la granja en general, se deberán tener en cuenta diversos aspectos que van desde el conocimiento de la producción de biogás diario, de las curvas en la demanda eléctrica, la tarifa de compra de la electricidad y del nodo de conexión eléctrica en el que se encuentra ubicada la granja. Así se podrán calcular datos como: el adecuado dimensionamiento de los motogeneradores elegidos, el ahorro en la compra de la electricidad y la venta de la misma. Sí existen

excedentes entonces se aplican diferentes tarifas de la venta de energía. Las granjas deben cumplir tener acceso a postes de conexión eléctrica de CFE cercana.

El Proyecto Biodigestor con Fosa dentro del rango de precio de comercialización de BC de 0 a 20 dólares en todos los escenarios es el más rentable siempre y cuando se aseguren precios de alrededor de 8 dólares en general, así el riesgo asumido es bajo. Este proyecto es claramente MDL debido a la poca factibilidad de establecerlos sin apoyo económico proveniente de fuentes externas.

Cabe entonces aclarar que las granjas que apliquen a MDL deben tener un tamaño de alrededor de 10, 000 cabezas, puesto que los costos de transacción del proyecto MDL no son accesibles para granjas de menores tamaños, sin embargo se pueden agrupar granjas pequeñas para tal efecto.

Los proyectos en los que se incluye el Motogenerador no son MDL, a menos que la tasa de descuento sea muy alta, ejemplo del 18% y que el valor de la venta de electricidad reditúa pocas ganancias. Es por ello que los índices de B/C deben ser maximizados contemplando sistemas que complementen al proyecto, ejemplo, analizar la posibilidad de incluir las microturbinas para cogeneración, debido a que se tendrán que implementar como proyectos fuera de un esquema MDL. La inversión en los motogeneradores es fuerte pero se amortiza con los años de uso de los mismos (tomando en cuenta que la vida de un MG es de 10 años), los ingresos por ahorro y venta de energía

Es importante suponer que los criterios con los cuales la empresa privada evalúa sus actividades son marcadamente diferentes de los que se aplican en la evaluación de las actividades públicas o sociales. En general, las actividades privadas se evalúan en términos de ganancias mientras que las públicas se evalúan en términos del bienestar general, como se expresen colectiva y efectivamente.

Al final de cuentas quien toma la decisión de invertir o no en un proyecto como éstos debe evaluar todas estas circunstancias, sin embargo cobran poco peso los criterios de

ganancias que el impacto social y medioambiental puedan tener. Dentro de los otros beneficios que deberían llamar la atención son: la disminución de olores, disminución de la contaminación del agua superficial y del subsuelo y la disminución en el deterioro de la calidad del aire.

Sin embargo si existieran incentivos y apoyos para las granjas porcinas se tendría un panorama más alentador motivando que los porcicultores vieran la posibilidad de desarrollar estos proyectos con motogeneradores, aunque no se consideren como MDL.

Si entonces se pretende establecer impactos en la de reducción de gases de efecto invernadero, debe comenzarse por implementar proyectos simples, es decir en los que sólo se quema el metano, beneficiando tales con los apoyos brindados a proyectos que califican como MDL. Éstos serán monitoreados durante su vida de aplicación en los que obtengan bonos de carbono, para certificar que efectivamente se están llevando a cabo dichas reducciones de GEI, por ello es importante que se tenga cuidado en cumplir con los compromisos establecidos de acuerdo a un estudio bien detallado de los alcances del proyecto.

De esta manera, para evitar el fracaso del proyecto deberán cuidarse desde aspectos importantes como lo son los técnicos, en cuanto a la cantidad de excretas que se deben ingresar al biodigestor diariamente, la temperatura, el valor de PH, que son decisivos en la obtención de metano, así como los de mantenimiento, cuidando que no haya fugas ni roturas en el polietileno, ni en los tubos de conducción del gas.

El éxito en la implementación de los primeros proyectos, atraerá a otras granjas a implementar éstos sistemas, lo cuál representará una mayor disminución de GEI a nivel nacional. Además se incrementarán cada año los proyectos MDL.

Sin embargo el 2012, es el año de vencimiento de la primera fase del Protocolo de Kyoto y no existe un acuerdo post-2012 hasta la fecha. Aunque actualmente se están llevando a cabo reuniones mundiales para llegar a convenios y tratados para el seguimiento de los acuerdos de Kyoto. Con metas más ambiciosas de reducción de GEI

se prevén precios más altos de bonos de carbono y los proyectos podrían verse aún más beneficiados por lo que habría más incentivos para implementarse.

Es justo entonces a este respecto citar las palabras del científico mexicano Mario Molina, premio Nobel de Química quien dice: “Solo si hay un acuerdo internacional que tenga un costo significativo (al incumplimiento), se logrará controlar efectivamente el cambio climático. Ahora ese costo es de 10 dólares por tonelada, debería ser de al menos 100 dólares por tonelada”. Por lo tanto, sería conveniente que la participación de México este orientada a conseguir mayores compromisos y acciones concretas de todos los países industrializados para disminuir los gases de efecto invernadero.

Aunque actualmente no existe un mercado a nivel mundial de los BC, se esperaría que el mercado donde se llevan a cabo las transacciones de BC vaya madurándose de tal manera que se pueda hablar de un mercado mundial, que llegado el momento será más fácil y confiable observar el comportamiento de los precios de los BC. De esta manera los riesgos en la implementación de este tipo de proyectos disminuyan y los índices beneficio-costos aumenten.

Con ello los países en desarrollo serán estimulados a aumentar su crecimiento económico, pero no dañando el medio ambiente como lo hizo el mundo industrializado.

## ÍNDICE DE FIGURAS

### *CAPÍTULO 1*

<b>FIGURA 1.1 a) Esquema Radiación Solar.....</b>	<b>15</b>
<b>FIGURA 1.1 b) Esquema Radiación Infrarroja.....</b>	<b>16</b>
<b>FIGURA 1.1 c) El balance de la radiación global como se publica en IPCC.....</b>	<b>17</b>
<b>FIGURA 1.1.2 Absorción del agua y otros gases invernadero.....</b>	<b>19</b>
<b>FIGURA 1.3 Variación de la Temperatura Global.....</b>	<b>24</b>
<b>FIGURA 1.3.1 Aumento de la Temperatura Mundial (1900-2004).....</b>	<b>25</b>
<b>FIGURA 1.3.2 a) Variaciones de CO<sub>2</sub>.....</b>	<b>26</b>
<b>FIGURA 1.3.2 b) Gráficas de la Tendencia Global de los principales Gases de Efecto Invernadero.....</b>	<b>27</b>
<b>FIGURA 1.3.3 Aumento temperatura, nivel de mar.....</b>	<b>28</b>
<b>FIGURA A1. Participación de entidades en un proyecto MDL.....</b>	<b>34</b>
<b>FIGURA C1. Demanda de CER' s en el Mercado Internacional de Carbono.....</b>	<b>36</b>
<b>FIGURA D1. Volumen de Ventas de CER por Regiones – 2004.....</b>	<b>37</b>
<b>FIGURA D2. Porcentaje de Reducción de Emisiones por Tipo de Proyecto – 2004.....</b>	<b>38</b>

### *CAPÍTULO 2*

<b>FIGURA 2.1 Biodigestor.....</b>	<b>45</b>
<b>FIGURA 2.2 Fases Digestión Anaerobia.....</b>	<b>47</b>
<b>FIGURA 2.3 Usos Del Biogás.....</b>	<b>50</b>
<b>FIGURA 2.4 Planta De Biogás.....</b>	<b>51</b>
<b>FIGURA 2.5 Motogenerador Eléctrico Alimentado Con Biogás.....</b>	<b>52</b>
<b>FIGURA 2.6 Tecnología De Tratamiento De Biogás.....</b>	<b>54</b>
<b>FIGURA 2.7 Esquema Descomposición Y Tratamiento De Excretas.....</b>	<b>59</b>
<b>FIGURA 2.8 Biodigestor De Domo Flotante Tipo Hindú.....</b>	<b>61</b>
<b>FIGURA 2.9 Biodigestor Tipo Chino.....</b>	<b>62</b>
<b>FIGURA 2.10 Esquema Del Digestor De Polietileno Tipo Saco.....</b>	<b>63</b>

### ***CAPÍTULO 3***

<b>FIGURA 3.1 Producción mundial de carne de cerdo.....</b>	<b>70</b>
<b>FIGURA 3.2. Estimación del consumo de carne de cerdo en México.....</b>	<b>71</b>
<b>FIGURA 3.3 Principales entidades productoras de carne de porcino en 2005.....</b>	<b>71</b>
<b>FIGURA 3.4 Consumo, utilización y pérdida de proteína en la producción de cerdos.....</b>	<b>74</b>
<b>FIGURA 3.5 Fuente: Prevención y Control Integrada de la Polución.....</b>	<b>78</b>
<b>FIGURA 3.6 Ubicación de la granja promedio.....</b>	<b>81</b>
<b>FIGURA 3.7 Obtención del poder calorífico de acuerdo a la composición del biogás.....</b>	<b>83</b>
<b>FIGURA 3.8 Construcción Biodigestor .Fase: Excavación.....</b>	<b>86</b>
<b>FIGURA 3.9 Construcción Biodigestor. Fase: puesta del polietileno.....</b>	<b>86</b>
<b>FIGURA 3.10 Llenado del Biodigestor.....</b>	<b>87</b>
<b>FIGURA 3.11 Formación de biogás.....</b>	<b>87</b>
<b>FIGURA 3.12 Obtención de biogás.....</b>	<b>88</b>
<b>FIGURA 3.13 Quemador de biogás.....</b>	<b>88</b>
<b>FIGURA 3.14 Motogenerador.....</b>	<b>90</b>
<b>FIGURA 3.15 Microturbina.....</b>	<b>91</b>
<b>FIGURA 3.16 Gráfica eficiencia Microturbina.....</b>	<b>91</b>

### ***CAPÍTULO 4***

<b>FIGURA 4.1 Esquema Balance energético de los grupos electrógenos.....</b>	<b>99</b>
--	-----------

### ***CAPÍTULO 5***

<b>Gráfica 5.1 Primer escenario.....</b>	<b>129</b>
<b>Gráfica 5.2 Segundo escenario.....</b>	<b>130</b>
<b>Gráfica 5.3 Tercer escenario.....</b>	<b>131</b>
<b>Gráfica 5.4 Cuarto escenario.....</b>	<b>132</b>
<b>Gráfica 5.5 Emisiones de tCO<sub>2</sub>e Sin Proyecto vs Con Proyecto Alternativas 1 y 2.....</b>	<b>135</b>
<b>Gráfica 5.6 Emisiones de tCO<sub>2</sub>e Sin Proyecto vs Con Proyecto Alternativas 3 y 4.....</b>	<b>137</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

### *CAPÍTULO 1*

<b>TABLA 1. Potencial de calentamiento global de los Gases de Efecto Invernadero (GWP).....</b>	<b>22</b>
<b>TABLA 2 Los gases invernadero, su concentración.....</b>	<b>27</b>

### *CAPÍTULO 2*

<b>TABLA 2.1 Digestión Anaeróbica.....</b>	<b>46</b>
<b>TABLA 2.2 Composición Biogás.....</b>	<b>48</b>
<b>TABLA 2.3 Valores de generación de biogás según diferentes sustratos.....</b>	<b>49</b>
<b>TABLA 2.4 Equivalencia del biogás a otros combustibles.....</b>	<b>49</b>
<b>TABLA 2.5 Exposición y tratamiento de excretas.....</b>	<b>58</b>

### *CAPÍTULO 3*

<b>TABLA 3. 1 Emisiones al aire en producción intensiva de cerdos.....</b>	<b>77</b>
<b>TABLA 3.2 Inventario Pecuario de los municipios del área de estudio.....</b>	<b>82</b>
<b>TABLA 3.3 Características generales de la granja.....</b>	<b>84</b>
<b>TABLA 3.4 Características generales del biodigestor.....</b>	<b>84</b>
<b>TABLA 3.5 Electricidad generada con eficiencia de 38% .....</b>	<b>85</b>
<b>TABLA 3.6 Electricidad generada con eficiencia de 33%.....</b>	<b>85</b>
<b>TABLA 3.7 Características MG Perkins.....</b>	<b>89</b>
<b>TABLA 3.8 Características MG Guascor.....</b>	<b>90</b>

## ***CAPÍTULO 4***

<b>TABLA 4.1 Costos del biodigestor.....</b>	<b>101</b>
<b>TABLA 4.2 Consumo de energía.....</b>	<b>101</b>
<b>TABLA 4.3 Electricidad generada.....</b>	<b>101</b>
<b>TABLA 4.4 Venta Excedentes.....</b>	<b>102</b>
<b>TABLA 4.4 Costos Bioabono.....</b>	<b>103</b>
<b>TABLA 4.5Cálculo de emisiones tCO2.....</b>	<b>109</b>
<b>TABLA 4.6 Costes de transacción MDL.....</b>	<b>111</b>
<b>TABLA 4.7 Egresos e Ingresos alternativa 1.....</b>	<b>115</b>
<b>TABLA 4.8 Modelo económico alternativa 1.....</b>	<b>116</b>
<b>TABLA 4.9 Egresos e Ingresos alternativa 2.....</b>	<b>117</b>
<b>TABLA 4.10 Modelo económico alternativa 2.....</b>	<b>118</b>
<b>TABLA 4.11 Egresos e Ingresos alternativas 3 y 4.....</b>	<b>119</b>
<b>TABLA 4.12 Modelo económico alternativa 3.....</b>	<b>120</b>
<b>TABLA 4.13 Modelo económico alternativa 4.....</b>	<b>121</b>

## ***CAPÍTULO 5***

<b>TABLA 5.1 Emisiones de tCO2e Sin Proyecto vs Con Proyecto</b>	
<b>Alternativas 1 y 2.....</b>	<b>136</b>
<b>TABLA 5.2 Emisiones de tCO2e Sin Proyecto vs Con Proyecto</b>	
<b>Alternativas 3 y 4.....</b>	<b>137</b>

## BIBLIOGRAFÍA

### Fuentes consultadas para la realización del estudio técnico-económico

1

Revista Claridades Agropecuarias, número 168, agosto 2007 (PDF)  
Granja el Mirasol. Tepatitlán. Avicar de Occidente S. A. de C. V.  
[www.infoaserca.gob.mx/claridades/revistas/168/ca168.pdf](http://www.infoaserca.gob.mx/claridades/revistas/168/ca168.pdf)

2

AWMS GHG Mitigation Project  
MX05-B-14, Jalisco, México  
UNFCCC Clean Development Mechanism  
Project Design Document  
Document ID: MX05-B-14  
Version 2.0 13 January 2005

3

AWMS GHG Mitigation Project  
MX05-B-09, Nuevo León, México  
UNFCCC Clean Development Mechanism  
Project Design Document  
Document ID: MX05-B-09  
Version 2.0 28 November 2005

4

Reporte de la Iniciativa de la Ganadería, el Medio Ambiente y el Desarrollo (LEAD)  
Integración por Zonas de la Ganadería Y de la Agricultura Especializadas (AWI) -  
Opciones para el Manejo de Efluentes de Granjas Porcícolas de la Zona Centro de  
México

Realizado por: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y  
Pecuarias (México)  
Universidad Nacional Autónoma de México (México)  
Swiss College of Agriculture (Switzerland)  
y Coordinado por la FAO (Food and Agriculture Organization of the  
United Nations)

5

Cervantes et al. / Revista Latinoamericana de Recursos Naturales, 3 (1): 3-12, 2007  
Estrategias para el aprovechamiento de desechos porcinos en la agricultura.

Francisco J. Cervantes, Jorge Saldívar-Cabrales y José Francisco Yescas

6

Venta de Productos Ecológicos: Agroterra.com - Mercado Agrario  
Precio. Área de venta: México. Bioabono

7

<http://www.cfe.gob.mx/es/InformacionAlCliente/conocetutarifa/>

8

Approved baseline methodology AM0016  
“Greenhouse gas mitigation from improved Animal Waste Management Systems in confined animal feeding operations”

9

Guía Latinoamericana para Proyectos MDL publicada por la SEMARNAT

10

Distribuidor Guascor Mexico

### **Bibliografía Complementaria**

Approved consolidated baseline and monitoring methodology ACM0006  
“Consolidated methodology electricity generation from biomass residues”

Reporte de emisiones de gases de efecto de invernadero del año 2005.  
SIMEPRODE. Gobierno del Estado de Nuevo León

Decisiones Económicas, Análisis y Proyectos. Fabrycky, W.J. Ed. Prentice Hall

Microeconomía Moderna .Miller, Roger LeRoy Ed. Harla

Obtención de Biogás mediante la Fermentación Anaerobia de Residuos  
Alimentarios. Alfredo Rodrigo Señor. Madrid 9 de Marzo 2005

Departamento de Geofísica de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la  
Universidad de Chile. Programa Explora de Chile (proyecto ED499/019)

IPCC 2001 Climate Change 2001: The Physical Science Basis

IPCC 2006 Climate Change 2006: The Physical Science Basis

IPCC 2007 Climate Change 2007: The Physical Science Basis

Viabilidad técnico-económica de proyectos ambientales en instalaciones de PEMEX  
a través del mercado de bonos de carbono en el marco del Protocolo de Kyoto.  
2006. Autor Ing. Yolanda Zeferino

Chemistry for Environmental Engineering. Sawyer/McCarty/Parkin

Olores y Vectores Generados en la Explotación Porcina. Alexis Araya C. José,  
María Peralta A

Investigación y Propuesta al Desarrollo de Soluciones del Sector Porcícola, al Problema Ambiental y Territorial en Holanda y a la Generación de Empleo en Colombia. Camilo Andrés, Jaramillo González Juan, Manuel Gálvez Schlesinger.

Prevención y Control Integrada de la Polución, Documento de las Mejores Técnicas disponibles para el manejo de la Porcicultura y Avicultura, Julio de 2003, Documento de la Comisión Europea

Evaluación Social de Proyectos. Ernesto R. Fontaine. Edit. Alfaomega.

Guía Para El Manejo De Residuos En Rastros Y Mataderos Municipales. Mauricio bonilla Padilla.

MT-BIOMETHAN. Tecnología del tratamiento del biogás. Publicación.

Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-001-ECOL-2001, Protección ambiental. SEMARNAT.

Utilización del biogás para generación de electricidad. Álvaro Zapata Cavidad, Fundación CIPAV.

“Emisión de Oxido Nitroso Vertido a la Atmósfera debido al Manejo de Excretas de Cerdo”. Materia: Energía y Medio Ambiente. UNAM. Profesor: Dr. Arturo Reinking Cejudo. Alumno: González Perales José Antonio.

Situación actual y perspectiva de la producción de carne de porcino en México 2006 Coordinador de la publicación MVZ José Luís Gallardo Nieto. SAGARPA.

Efecto de los ácidos grasos volátiles del proceso resumen abomasal in Vitro y de la melaza; sobre la viabilidad de la salmonera typhimurium. Tesis doctoral. Ernestina Gutiérrez Vázquez 1995 Universidad de Colima.

Cambio climático: el peso de la evidencia y sus implicaciones para la sociedad *Andrés Flores Montalvo y Adrián Fernández Bremauntz*. INE.

Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 2002. José Luis Arvizu Instituto de Investigaciones Eléctricas

**Páginas electrónicas consultadas:**

[www.semarnat.gob.mx](http://www.semarnat.gob.mx)

[www.sagarpa.gob.mx](http://www.sagarpa.gob.mx)

[www.conae.gob.mx](http://www.conae.gob.mx)

[www.conagua.gob.mx](http://www.conagua.gob.mx)

[www.porcicultura.com](http://www.porcicultura.com)

[http://www.ingenieria.unam.mx/~jkuri/Apunt\\_Planeacion\\_internet/TEMAVI.5](http://www.ingenieria.unam.mx/~jkuri/Apunt_Planeacion_internet/TEMAVI.5)

<http://www.textoscientificos.com/energia/biogas>

[www.guascor.com](http://www.guascor.com)

[www.perkins.com](http://www.perkins.com)

[www.capstoneturbine.com](http://www.capstoneturbine.com)

[www.cfe.gob.mx](http://www.cfe.gob.mx)

[www.mt-energie.com](http://www.mt-energie.com)

[http://www.consumer.es/web/es/medio\\_ambiente/energia\\_y\\_ciencia/2006/07/18/153920.php](http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/energia_y_ciencia/2006/07/18/153920.php)

[http://www.engormix.com/disenio\\_biodigestores\\_s\\_articulos\\_976\\_POR.htm](http://www.engormix.com/disenio_biodigestores_s_articulos_976_POR.htm)

[http://www.agronet.gov.co/www/docs\\_si2/20061127162154\\_Manejo%20de%20excetas%20y%20biodigestores.pdf](http://www.agronet.gov.co/www/docs_si2/20061127162154_Manejo%20de%20excetas%20y%20biodigestores.pdf)

[http://www.iica.int.ni/Estudios\\_PDF/Biodisgestores.pdf](http://www.iica.int.ni/Estudios_PDF/Biodisgestores.pdf)

[www.funtener.org/pdfs/Resumen\\_Estudio\\_de\\_Mercado-18-asep-06.pdf](http://www.funtener.org/pdfs/Resumen_Estudio_de_Mercado-18-asep-06.pdf)

<http://cdm.unfccc.int/index.html>

[http://eetd.lbl.gov/ea/EA\\_C\\_I.html](http://eetd.lbl.gov/ea/EA_C_I.html)

[www.ine.gob.mx](http://www.ine.gob.mx)

[www.centromariomolina.com](http://www.centromariomolina.com)

## **ABREVIATURAS**

**BC** Bonos de Carbono  
**B/C** Beneficio-Costo  
**C** Carbono  
**CER's** Certificados de Reducción de Emisiones  
**CF** Coniformes fecales  
**CFC** Clorofluorcarbonados  
**CFE** Comisión Federal de Electricidad  
**CH<sub>4</sub>** Metano  
**CMNUCC** Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático  
**COP** Conferencia de las Partes  
**CO<sub>2</sub>** Dióxido de Carbono  
**DBO** Demanda Bioquímica de Oxígeno  
**GEI** Gases de Efecto Invernadero  
**GWP** Warming Potencial Gases  
**HFC** Carbuos hidrofluorados  
**H<sub>2</sub>S** Ácido Sulfhídrico  
**IPCC** Panel Intergubernamental para el Cambio Climático  
**K** Potasio  
**LB** Línea Base  
**LFDMA** Ley Federal de Derechos en Materia de Agua  
**LMP** Límites Máximos Permisibles  
**MDL** Mecanismo para un Desarrollo Limpio  
**MG** Motogenerador  
**N** Nitrógeno  
**NASA** National Aeronautics and Space Administration  
**N<sub>2</sub>O** Óxido Nitroso  
**NH<sub>3</sub>** Amoniaco  
**OCDE** Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico  
**OMM** Organización Meteorológica Mundial  
**ONU** Organización de Naciones Unidas  
**P** Fósforo  
**PFC** Carbuos perfluorados  
**PK** Protocolo de Kyoto  
**Ppm** Partes por millón  
**Ppb** Partes por billión  
**SF<sub>6</sub>** Hexafluoruro de azufre  
**SO<sub>2</sub>** Dióxido de azufre  
**SST** Sólidos Suspendidos Totales  
**SSV** Sólidos Suspendidos Volátiles  
**tCO<sub>2</sub>e** Toneladas de dióxido de carbono equivalente  
**UNEP** Programa de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente  
**VPN** Valor Presente Neto