

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA**  
**ANTONIO NARRO**  
**UNIDAD LAGUNA**  
DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL



“ESTRATEGIAS PARA MITIGAR EL CAMBIO CLIMÁTICO  
EN EXPLOTACIONES GANADERAS”

**MONOGRAFÍA**

Por:

**MANUEL PÉREZ LÓPEZ**

Presentada como requisito parcial para obtener título de:

**MEDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA**

Torreón, Coahuila, México.

Junio de 2013

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
UNIDAD LAGUNA  
DIVISION REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL**



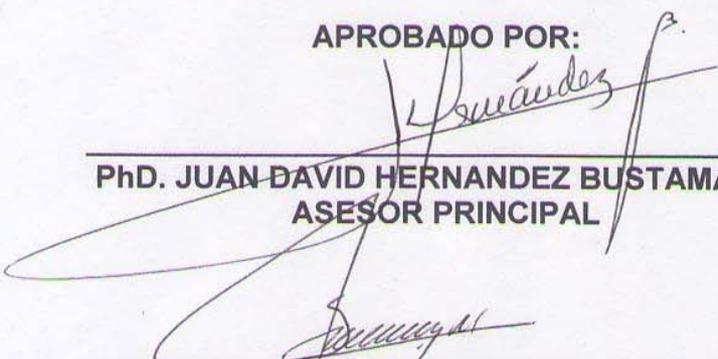
**“ESTRATEGIAS PARA MITIGAR EL CAMBIO CLIMÁTICO EN  
EXPLOTACIONES GANADERAS”**

**POR:  
MANUEL PÉREZ LÓPEZ**

**MONOGRAFIA  
ELABORADA BAJO LA SUPERVISION DEL COMITÉ DE ASESORIA Y  
APROBADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TITULO DE:**

**MEDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA**

**APROBADO POR:**

  
**PhD. JUAN DAVID HERNANDEZ BUSTAMANTE  
ASESOR PRINCIPAL**

  
**MVZ. RODRIGO ISIDRO SIMÓN ALONSO  
COORDINADOR DE LA DIVISION REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL**



**Coordinación de la División  
Regional de Ciencia Animal**

**TORREÓN, COAHUILA MÉXICO.**

**JUNIO DE 2013.**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
UNIDAD LAGUNA  
DIVISION REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL**



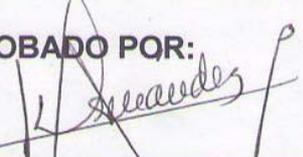
**“ESTRATEGIAS PARA MITIGAR EL CAMBIO CLIMÁTICO EN  
EXPLOTACIONES GANADERAS”**

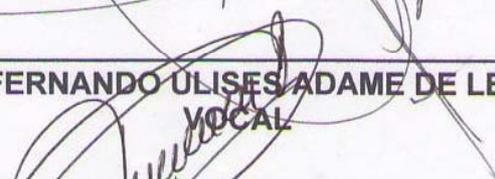
**POR:  
MANUEL PÉREZ LÓPEZ**

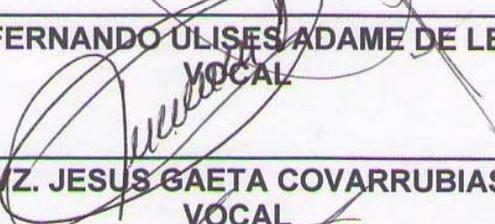
**MONOGRAFIA  
QUE SE SOMETE A CONSIDERACION DEL H. JURADO EXAMINADOR,  
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TITULO DE:**

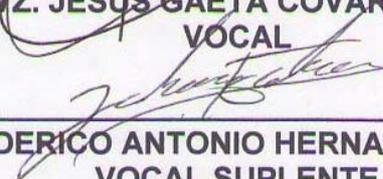
**MEDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA**

**APROBADO POR:**

  
\_\_\_\_\_  
**PhD. JUAN DAVID HERNANDEZ BUSTAMANTE  
PRESIDENTE**

  
\_\_\_\_\_  
**DR. FERNANDO ULISES ADAME DE LEON  
VOCAL**

  
\_\_\_\_\_  
**MVZ. JESUS GAETA COVARRUBIAS  
VOCAL**

  
\_\_\_\_\_  
**MVZ. FEDERICO ANTONIO HERNANDEZ TORREZ  
VOCAL SUPLENTE**

**TORREÓN, COAHUILA MÉXICO.**

**JUNIO DE 2013.**

**TORREÓN, COAHUILA MÉXICO.**

**JUNIO DE 2013.**

## DEDICATORIAS

A todas las personas que están en mi corazón, en especial para:

**Mis padres**, mis guías, mi vida, mi amor y mi ejemplo:

**Hermila López Pérez y Francisco Pérez Pérez:** por darme mucho amor, confianza, dedicación, paciencia, por sus buenos consejos; por ser personas con honestidad, responsabilidad, integridad y dignidad; por haberme dado el maravilloso regalo que es la vida, por su apoyo incondicional durante el largo trayecto de mi formación profesional, por estar conmigo en todo momento y por haber hecho posible este día tan esperado.

**Mis hermanos (as)**, mi fuerza y mi apoyo:

**Maricela, Daniela, Yolanda, Miguel Ángel, Tomas de Jesús, Javier y Juan Carlos:** por las palabras de aliento para seguir adelante, por la confianza que ustedes tienen en mí y porque además de ser mis hermanos son mis amigos quienes me han apoyado en todo momento.

**Mi hermano Francisco (†)** a quien llevo siempre en mi mente y mi corazón, aunque tú ya no estás aquí con nosotros, sé que desde el cielo me cuidas y me das las fuerzas para seguir adelante; te quiero hermano en donde quiera que estés te dedico todos mis logros.

**Mis abuelos** por formar parte de mi existencia, por la preocupación que tienen hacia mí y por el apoyo moral que me han brindado.

**Mis tíos** por el apoyo que me brindaron en los momentos en que necesité de ustedes y que de alguna manera fueron parte de mi formación profesional.

**¡Mi familia, mi continuo impulso para alcanzar el éxito!**

## AGRADECIMIENTOS

A **Dios** por darme una maravillosa familia, salud, por la oportunidad de seguir viviendo y por permitir terminar una etapa más en mi vida y en mi formación profesional.

A **mis padres, Hermila López Pérez y Francisco Pérez Pérez**, por el esfuerzo y sacrificio que han hecho por verme triunfar, por la confianza que tuvieron en mi al permitir alejarme de ustedes para terminar mis estudios, por tantos desvelos y preocupaciones que les hice pasar durante el tiempo que estuve lejos de ustedes, por haberme permitido terminar mi formación académica y obtener un título profesional lo cual será mi herramienta más importante para enfrentar a la vida y sobre todas la cosas, gracias por tanto amor.

A **mi Alma Mater** por haberme permitido ser parte de ella y culminar en ella mi formación profesional.

A **mis profesores** por haberme transmitido sus conocimientos y por ser parte fundamental en mi formación profesional.

A **mi asesor** el **Dr. Juan David Hernández Bustamante** por su apoyo incondicional durante la realización de este trabajo y por ser un gran ejemplo a seguir.

A **mis amigos** por ser parte de mi formación profesional y por haber compartido conmigo momentos buenos y difíciles durante nuestra estancia en la gloriosa y majestuosa **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**.

## INDICE

	Página.
LISTA DE CUADROS	
LISTA DE FIGURAS	
RESUMEN.....	x
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVO.....	2
III. JUSTIFICACIÓN.....	2
IV. REVISION DE LITERATURA.....	3
IV.1. El cambio climático.....	3
IV.2. El calentamiento global.....	3
IV.3. El efecto invernadero.....	3
IV.4. Gases de efecto Invernadero.....	4
IV.4.1. Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> ).....	4
IV.4.2. Metano (CH <sub>4</sub> ).....	4
IV.4.3. Oxido Nitroso (N <sub>2</sub> O).....	5
IV.4.4. Vapor de Agua (H <sub>2</sub> O).....	5
IV.4.5. Ozono (O <sub>3</sub> ).....	5
IV.4.6. Hidrofluorocarbonos (HFC).....	5
IV.4.7. Perfluorocarbonos (PFC).....	5
IV.4.8. Hexafluoruro de Azufre (SF <sub>6</sub> ).....	5
IV.5. Fuentes de metano.....	7
IV.6. Orígenes de la producción de gases con efecto invernadero que están conectados con la actividad ganadera.....	10
IV.7. Emisiones en la ganadería.....	11
IV.7.1. Metano.....	11
IV.7.2. Oxido Nitroso.....	13
IV.7.3. Dióxido de carbono.....	15
IV.8. El metano liberado por la fermentación entérica puede ascender a 86 millones de toneladas al año.....	15

IV.9.	El metano liberado por estiércol de los animales puede ascender a 18 millones de toneladas al año.....	20
IV.10.	Oportunidades para reducir emisiones a nivel agropecuario.	23
IV.11.	Reducción de las emisiones de CH <sub>4</sub> provenientes de la fermentación entérica a través de la dieta y el manejo de la eficiencia.....	24
IV.12.	Mitigación de las emisiones de CH <sub>4</sub> a través del manejo mejorado del estiércol y el biogás.....	28
IV.13.	Medidas para reducir las emisiones de metano provenientes del ganado vacuno.....	32
IV.13.1.	Mejora de la nutrición por medio del procesamiento mecánico y químico de los alimentos.....	33
IV.13.2.	Mejora de la nutrición por medio de la suplementación estratégica.....	34
IV.13.3.	Agentes mejoradores de la producción. ....	35
IV.13.4.	Mejoramiento genético.....	36
IV.13.5.	Mejoramiento reproductivo.....	37
IV.14.	Estrategias Potenciales para Disminuir la emisión de Metano de Fermentación (en Relación a la Alimentación).....	38
IV.14.1.	Características de los animales.....	38
IV.14.2.	Características del rumen.....	38
IV.14.3.	Distintas estrategias en estudio.....	38
V.	CONCLUSIÓN.....	40
VI.	LITERATURA CITADA.....	41

## LISTA DE CUADROS

CUADRO.	Página.
1. CONTRIBUCIÓN DE GASES AL EFECTO INVERNADERO.....	6
2. FUENTES ARTIFICIALES DE METANO.....	7
3. EMISIONES GLOBALES DE METANO PROCEDENTES DE LA FERMENTACIÓN ENTÉRICA.....	19
4. EMISIONES DE METANO PROCEDENTES DEL MANEJO DEL ESTIÉRCOL.....	22

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA	Página
1. El efecto invernadero.....	4
2. Contribución de gases de efecto invernadero.....	6
3. Fuentes artificiales de metano.....	8
4. Países de mayor importancia en la emisión de metano.....	9
5. Emisiones anuales de metano por cada animal.....	11
6. Emisión de metano por ganado bovino en sistemas de pastoreo.....	12
7. Emisión de metano por ganado bovino en sistemas intensivos.....	16
8. El metano y los animales domésticos.....	17
9. Ganado de leche estabulado al abierto alimentándose con forrajes en La Loma, Lerdo, Durango, México.....	18
10. Emisiones globales de metano procedentes de la fermentación entérica.....	20
11. Emisiones de metano procedentes del manejo del estiércol.....	23
12. Biodigestor anaeróbico para la producción de biogás.....	31
13. Esquema de un biodigestor.....	32
14. Representación gráfica de un biodigestor.....	32

## Resumen

Las actividades pecuarias tienen un impacto significativo en prácticamente todas las esferas del medio ambiente, incluidos el cambio climático y el aire, la tierra y el suelo, el agua y la biodiversidad. El sector ganadero reviste una importancia fundamental ya que es uno de los responsables de las emisiones de gases de efecto invernadero. El metano ( $\text{CH}_4$ ) es un producto final de la fermentación que sufren los alimentos en el rumen, que en términos de energía constituye una pérdida y en términos ambientales contribuye al calentamiento y al cambio climático global. El  $\text{CH}_4$  pertenece al grupo de gases de efecto invernadero (GEI), en el que se encuentran también: bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos, (PFC) y hexafluoruro de azufre ( $\text{SF}_6$ ). Si bien el sector pecuario contribuye en gran medida al cambio climático y a la contaminación atmosférica, igualmente existen múltiples y efectivas opciones para su mitigación, como queda demostrado en el presente trabajo.

**PALABRAS CLAVES:** Calentamiento global, efecto invernadero, cambio climático, rumiantes, metano.

## **Introducción**

El cambio climático global es una de las amenazas con las que se enfrenta hoy nuestro planeta.

Los científicos estiman que, como resultado de este cambio en los patrones térmicos, la temperatura media de la Tierra podría incrementarse transformando al planeta en un lugar bastante diferente al que conocemos.

La determinación de las causas del cambio climático ha sido un largo proceso y ha involucrado el trabajo de miles de científicos de todo el mundo. En 1995, alrededor de 2.500 científicos coincidieron, por primera vez, en afirmar que las emisiones de gases de efecto invernadero originadas en las actividades humanas eran las responsables del cambio climático; por lo tanto, la cuestión ya no es más si los humanos estamos alterando el clima mundial, sino dónde, cuándo y en qué medida lo estamos haciendo.

De esta manera se ha comprobado que la emisión de gases de efecto invernadero es uno de los factores más importantes sobre el cambio climático de nuestro planeta, por lo cual las explotaciones ganaderas se encuentran ampliamente involucrados debido a que producen metano en sus procesos digestivos, principalmente a través de la fermentación de los alimentos por los microorganismos presentes en los preestómagos, particularmente en la cavidad ruminoreticular.

Lo más importante es que ahora sabemos que, para prevenir la ocurrencia de cambios catastróficos en el clima de la Tierra, debemos reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y en este trabajo se propone métodos para mitigación de estos gases en las explotaciones ganaderas.

## **Objetivo**

Realizar una investigación documental sobre los sistemas de producción ganadera en México y la manera en que contribuyen en la emisión de gases de efecto invernadero.

Estimar tanto las emisiones de gases de efecto invernadero y proponer estrategias para reducir la producción de estos gases en los sistemas de producción ganadera en México.

## **Justificación**

Este trabajo contiene información fidedigna sobre las explotaciones ganaderas y la manera en que contribuyen en la producción de gases de efecto invernadero que trae como consecuencia el calentamiento global. A su vez propone a los productores de ganado bovino varios métodos a seguir para mitigar la emisión de estos gases en estas explotaciones ganaderas.

## **Revisión de literatura**

### **El cambio climático**

Los científicos definen al cambio climático como "...todo cambio que ocurre en el clima a través del tiempo resultado de la variabilidad natural o de las actividades humanas" (Semarnat, 2009).

### **El calentamiento global**

Es la manifestación más evidente del cambio climático y se refiere al incremento promedio de las temperaturas terrestres y marinas globales (Semarnat, 2009). Debido principalmente a la sobre acumulación de GEI en la atmósfera producidos principalmente por la actividad humana, provocando que gran cantidad (por encima de lo normal) de la energía solar emitida por la tierra se vea atrapada dentro de esta capa de gases (Colque y Sánchez, 2007).

### **El efecto invernadero**

El término "efecto de invernadero" se refiere al papel que desempeña una capa de gases que retiene el calor del Sol en la atmósfera de la Tierra, haciendo que la temperatura interior sea más alta que la exterior. Este fenómeno se produce debido a que la energía generada por el sol llega a la tierra en forma de frecuencia alta, rebotando al exterior en forma de frecuencia baja. Es decir, solo una parte de la energía solar emitida desde la tierra atraviesa la capa de gases de invernadero la otra parte se queda dentro de la tierra haciendo que esta tenga una temperatura media promedio adecuada para el desarrollo del medioambiente (Colque y Sánchez, 2007).

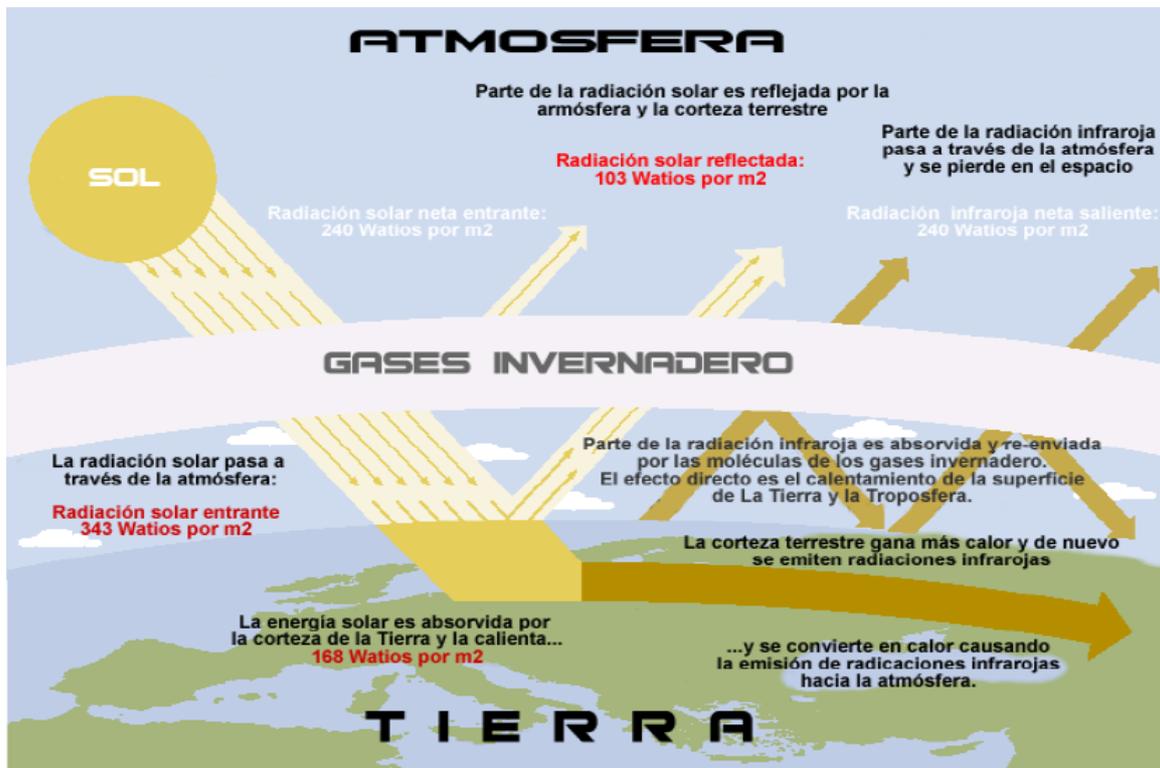


Figura 1. El efecto invernadero (Colque y Sánchez, 2007).

## Gases de efecto Invernadero

### ***Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)***

Gas de invernadero producido por uso de combustible fósil (petróleo, gas, carbón, etc.) y por el cambio de uso de la tierra (deforestación). Este gas ha contribuido a mantener una temperatura constante dentro de la tierra, sin embargo en la actualidad, es responsable de casi el 76 % del calentamiento global previsto para los próximos años (Colque y Sánchez, 2007).

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

Al igual que el CO<sub>2</sub>, es producido por la combustión de combustible fósil, asimismo, se produce en los pozos de petróleo, minas de carbón al aire libre, cultivos de arroz y por la por la digestión alimenticia de los animales (Colque y Sánchez, 2007).

### ***Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O)***

Liberado por la combustión de vehículos motorizados, diesel, así como el empleo de fertilizantes nitrogenados (Colque y Sánchez, 2007).

### ***Vapor de Agua (H<sub>2</sub>O)***

Por evaporación, ebullición del agua líquida o por sublimación del hielo (Colque y Sánchez, 2007).

### ***Ozono (O<sub>3</sub>)***

Presente en la estratosfera y la troposfera (Colque y Sánchez, 2007).

### ***Hidrofluorocarbonos (HFC)***

Es usado por el hombre como disolvente para los aerosoles, refrigerantes y dispersores de espuma de uso industrial y doméstico (Colque y Sánchez, 2007).

### ***Perfluorocarbonos (PFC)***

Es provocado por la acción del hombre por la producción de aluminio por electrólisis (Colque y Sánchez, 2007).

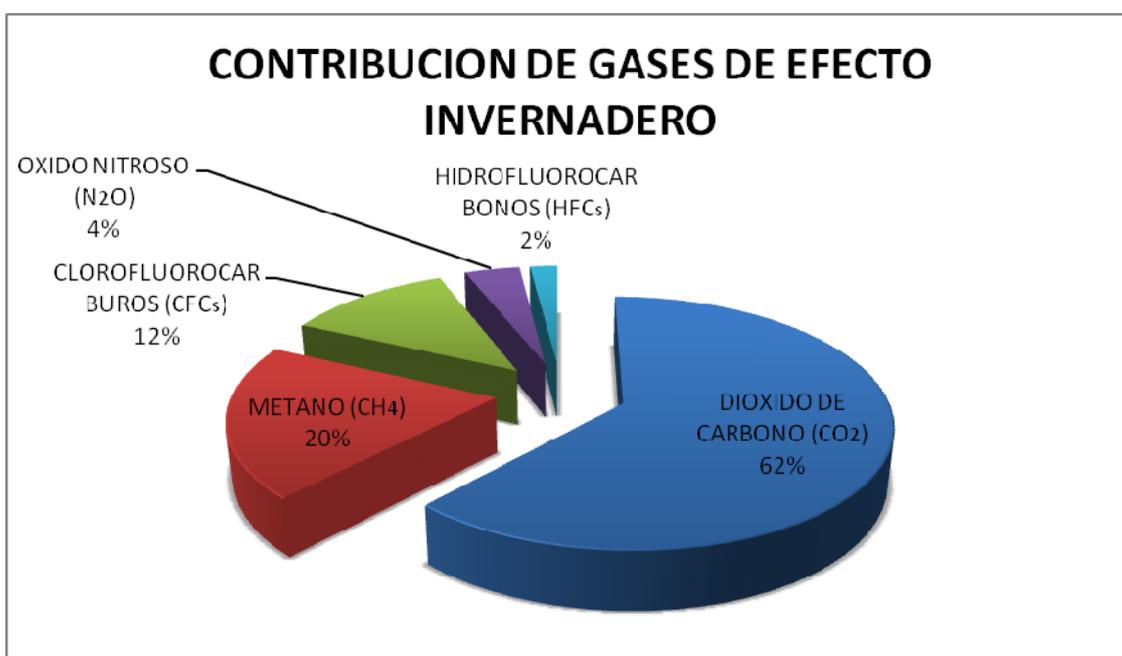
### ***Hexafluoruro de Azufre (SF<sub>6</sub>)***

Provocado por la acción del hombre en la producción de magnesio (Colque y Sánchez, 2007).

La concentración de estos gases se incrementa constantemente en la atmósfera, debida principalmente al aumento de emisiones provenientes de las actividades humanas. A medida que los gases incrementan su densidad, la energía infrarroja es retenida en la atmósfera causando un daño potencialmente irreversible al sistema climático de la tierra. La reducción de la emisión de gases de efecto invernadero es de suma importancia para prevenir las futuras implicancias del calentamiento global (Berra, *et al.*, 1994).

**CUADRO 1. CONTRIBUCIÓN DE GASES AL EFECTO INVERNADERO** (Berra, *et al.*, 1994).

<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>62%</b>
<b>CH<sub>4</sub></b>	20%
<b>CFCs</b>	12%
<b>N<sub>2</sub>O</b>	4%
<b>HFCs + HCFCs</b>	2%



**Figura 2.** Contribución de gases de efecto invernadero (Adaptado de Berra, *et al.*, 1994).

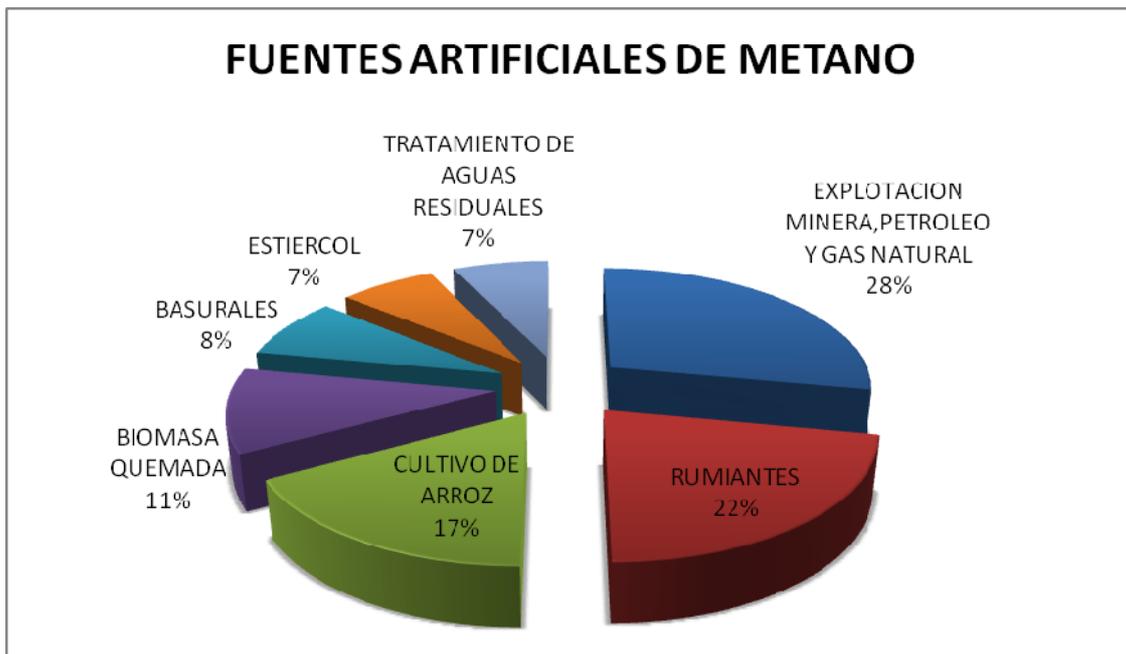
El metano (CH<sub>4</sub>) es un gas, químicamente y radiactivamente activo que contiene las radiaciones infrarrojas provocando un calentamiento global de la tierra. Es el primer componente del gaseoso del medio natural y una importante fuente de energía. Sus concentraciones se están incrementando rápidamente en la atmósfera aumentando la polución ambiental. El metano (CH<sub>4</sub>) aporta aproximadamente el 20 % del total de los gases que causan el denominado efecto invernadero. El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el óxido nitroso y otros gases aportan el restante 86%, con el CO<sub>2</sub> representando solo el 62% (Berra, *et al.*, 1994).

## Fuentes de metano

Las dos fuentes primarias de metano son **artificialmente** (antropogénica) y **naturalmente**. La fuente artificial aporta cerca del 70 % del metano emitido anualmente (cerca de 500 tn). Esta fuente incluye gas natural, explotaciones petroleras, explotaciones mineras, tierras destinadas al alojamiento de los residuos., ganado rumiante, desperdicios sólidos y líquidos, cultivos de arroz y biomasa quemada (Berra, *et al.*, 1994).

**CUADRO 2. FUENTES ARTIFICIALES DE METANO** (Berra, *et al.*, 1994).

<b>Explotación minera, petróleo y gas natural</b>	<b>28 %</b>
<b>Rumiantes</b>	<b>22 %</b>
<b>Cultivo de arroz</b>	<b>17 %</b>
<b>Biomasa quemada</b>	<b>11 %</b>
<b>Basurales</b>	<b>8 %</b>
<b>Estiércol</b>	<b>7 %</b>
<b>Tratamiento de aguas residuales</b>	<b>7 %</b>



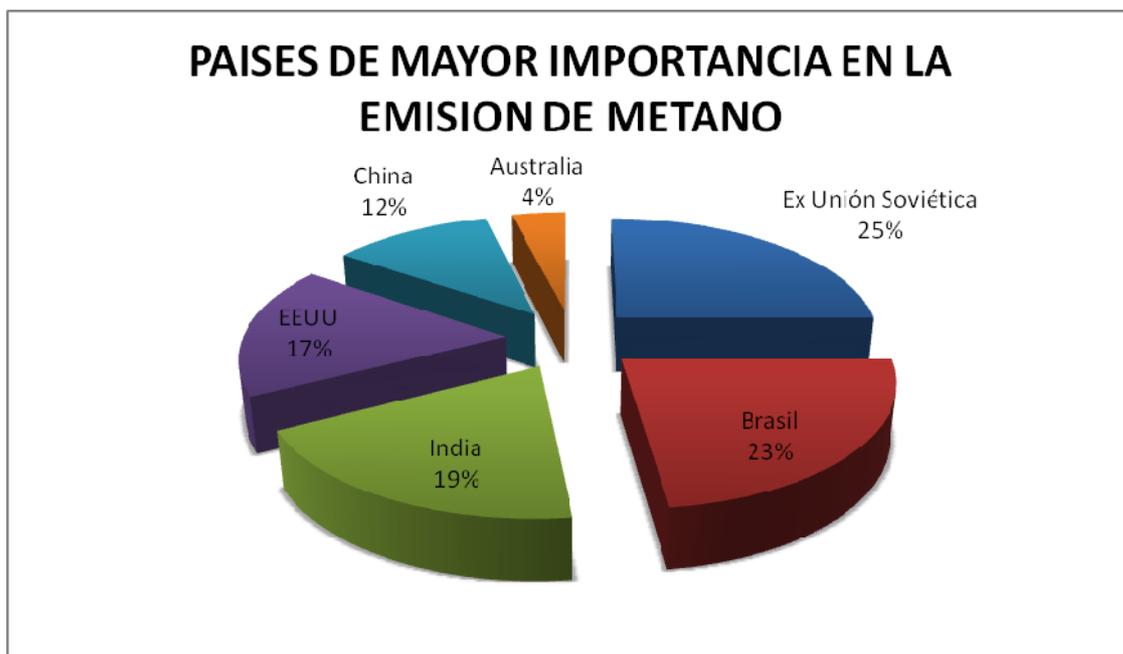
**Figura 3.** Fuentes artificiales de metano (Adaptado de Berra, *et al.*, 1994).

El 30 % restante de la emisión de gases de efecto invernadero son provenientes de fuentes naturales como pantanos, hormigas, incendios forestales y metano hidratado proveniente de océanos y agua dulce. El nivel de metano en la atmósfera por largo tiempo dependió del equilibrio entre las entradas y salidas. Las salidas de metano (principalmente a través de la conversión atmosférica en el vapor de agua y el dióxido de carbono) ocurren mucho más lentamente que la emisión de fuentes artificiales. El incremento neto del metano durante la década del 80 fue estimado del orden de las 37 Tn, lo que significa un incremento porcentual del 0.8 % por año (Berra, *et al.*, 1994).

Los rumiantes son una importante fuente artificial de metano. Bovinos, ovinos, caprinos y camélidos producen metano en sus procesos digestivos, principalmente a través de la fermentación de los alimentos por los microorganismos presentes en los preestómagos, particularmente en la cavidad rumino reticular. La cantidad producida varía por diversos factores como la especie, la dieta y el manejo (Berra, *et al.*, 1994).

Los rumiantes producen entre 65 y 100 Tn de metano por año. Los bovinos son la fuente principal, produciendo cerca del 75 % de las emisiones (Berra, *et al.*, 1994).

Los 6 países que más responsabilidades tienen en estas emisiones son: Ex Unión Soviética (13%), Brasil (12%), India (10 %), EEUU (9 %), China (6 %) y Australia (2 %) (Berra, *et al.*, 1994, Gil y Susana, 2006).



**Figura 4.** Países de mayor importancia en la emisión de metano (Adaptado de Berra, *et al.*, 1994, Gil y Susana, 2006).

En general es aceptado que los sistemas intensivos de producción generan menos emisiones de metano que los sistemas extensivos. El metano producido por los bovinos se encuentra entre el 5,5 a 6,5 % de la energía que aportan los alimentos, que es usada para incrementar la temperatura corporal. Un valor de 7,5 % es considerado como que el animal posee un deficiente sistema de conversión. Dietas con alta proporción en granos como la suministrada en sistemas con encierro a corral (Berra, *et al.*, 1994).

La concentración de metano en la atmósfera es más del doble que hace 200 años atrás. El principal incremento se dio en la última década, pero a un ritmo más alto a partir de 1993. Los niveles normales estimados en la atmósfera son de 1,72 ppmv con un incremento anual de 0.0095 a 0.0133 ppmv. El metano es un gas

químicamente y radioactivamente activo. Junto con el dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero, atrapa la radiación infrarroja provocando el calentamiento de la tierra. El metano también reacciona con varios componentes atmosféricos incrementando la concentración de dichos gases, aire tóxico y ozono (Berra, *et al.*, 1994).

La reducción de emisión de metano proveniente de los rumiantes puede disminuir significativamente la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera (Berra, *et al.*, 1994).

### **Orígenes de la producción de gases con efecto invernadero que están conectados con la actividad ganadera**

- La producción de CO<sub>2</sub> proviene de la deforestación para liberar superficie para cultivos (que se transformarán luego en forraje conservado como silo o heno, o en grano, ambos para alimentación del ganado) o para pastoreo directo. La disminución del número de árboles disminuye el consumo de CO<sub>2</sub> por fotosíntesis, y la quema de la madera origina CO<sub>2</sub> de combustión. También se elimina este gas por el uso de combustible para la maquinaria agrícola (Gil y Susana, 2006).
- Las emisiones de CH<sub>4</sub> provienen de la fermentación ruminal de las fracciones carbonadas, a través del eructo, y de fermentación anaeróbica del estiércol. Los animales y sus excretas producen alrededor del 23% del metano de todo el planeta (Gil y Susana, 2006).
- Las emisiones de N<sub>2</sub>O provienen del uso de fertilizantes químicos con nitrógeno en cultivos para forrajes y obtención de cereales para la dieta de los animales en engorde, y en cantidades mucho más pequeñas, del estiércol. Es un subproducto minoritario de los procesos de nitrificación y desnitrificación (Gil y Susana, 2006).



**Figura 5.** Emisiones anuales de metano por cada animal.

### Emisiones en la ganadería

Al enfocarnos en la ganadería como uno de los responsables de la emisión de GEI, debemos conocer los procesos biológicos y los factores que están influyendo en la emisión de estos. Este aspecto es muy importante y relevante, ya que nos ayudaría a visualizar una posible vía de reducción en las emisiones (Becoña, G. 2010).

### Metano

Las emisiones de gas metano, se producen en sistemas de pastoreo producto de la fermentación en el rumen (95 %) y mínimamente (menos del 5 %) producto del excremento (Clark, *et al.*, 2005). La gran mayoría del metano, en particular el ruminal, se produce a partir de la digestión de los alimentos a nivel del retículo-rumen, el cual se emite por eructación (Becoña, G. 2010).



**Figura 6.** Emisión de metano por ganado bovino en sistemas de pastoreo (<http://www.google.com.mx>).

En el rumen, existen microorganismos que son los encargados de la digestión y fermentación de los alimentos consumidos, en particular los llamados *metanogénicos* (formadoras de metano), que se ven favorecidos cuando las dietas contienen mayor concentración de fibras (carbohidratos estructurales) (Becoña, G. 2010).

La digestión en el rumen produce como resultado ácidos grasos volátiles (mayormente ácido acético, compuesto orgánico de 2 carbonos), CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, amonio y calor. En el último paso del proceso el CO<sub>2</sub> en el rumen se reduce en CH<sub>4</sub> (metano) utilizando el H<sub>2</sub> como fuente de energía (Becoña, G. 2010).



En definitiva el metano deriva de la digestión de la materia orgánica de las plantas, por lo que la producción de CH<sub>4</sub> está ligada a la cantidad digerida (Pinares, et al., 2009). Cuando las dietas pasan a tener un mayor contenido de almidón como proveedor de energía como en el caso de los granos (por ejemplo maíz, sorgo,

trigo, etc.), favorece el desarrollo de bacterias que producen ácido propiónico (compuesto orgánico de 3 carbonos) frente a los metanogénicos, disminuyendo la producción de metano. Por lo tanto el tipo de dieta y el nivel de consumo son los factores que determinan el tipo y cantidad de sustrato disponible para la fermentación ruminal y son por tanto los principales factores que inciden en la emisión de metano (Methol, 2009). Las emisiones de metano comúnmente se expresan como el porcentaje de la energía bruta que se emite como gas, respecto a la que es consumida, en gramos  $\text{CH}_4$  por día. Como vimos está directamente relacionado con la calidad de la dieta y la cantidad que es consumida. En el caso de un campo natural las emisiones de metano pueden variar según la época del año entre 6,5 y 8 % de la energía bruta consumida; una pradera entre 5.5 y 6.5 % aproximadamente y para el caso de granos, se encuentra en el entorno al 3 %. Estas diferentes calidades de alimento también determinan diferentes eficiencias de producción, por lo que para poder comparar entre diferentes fuentes de alimentación se relacionan a los kilos producidos de producto ( $\text{g CH}_4$  /kg producto). Al expresarla en función a la cantidad de producto, permite comprobar cómo al mejorar la eficiencia en la utilización del alimento podemos disminuir las emisiones por unidad de producto. Por último, con respecto a las emisiones de metano derivadas del estiércol de animales en pastoreo, estas adquieren poca relevancia, debido a que bajo condiciones aeróbicas (con oxígeno) se secan rápidamente, por lo que las emisiones de  $\text{CH}_4$  producto del excremento son despreciables con respecto a las ocasionadas por la fermentación ruminal. En condiciones de confinamiento, o el hecho de utilizar piletas para el tratamiento de efluentes estas adquieren mayor relevancia (Becoña, G. 2010).

### **Óxido Nitroso**

Las emisiones de este gas derivan del proceso de desnitrificación y nitrificación en el suelo y especialmente relacionado al efecto de las deyecciones de orina (Becoña, G. 2010).

El proceso de desnitrificación es la reducción biológica del nitrato ( $\text{NO}_3$ ) bajo condiciones anaeróbicas (sin oxígeno), hacia la forma gaseosa del nitrógeno ( $\text{N}_2$ ), siendo el óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) un intermediario obligatorio (Pinares, *et al.* 2009). Ocurre cuando las bacterias anaeróbicas facultativas, usan en la respiración nitrato y nitrito ( $\text{NO}_2$ ), en algunos casos cuando la reducción es incompleta, provoca la acumulación de  $\text{NO}_2$  (Becoña, G. 2010).

**$\text{NO}_3 > \text{NO}_2 > \text{NO} > \text{N}_2\text{O} > \text{N}_2$**   
**(Desnitrificación)**

La nitrificación es la oxidación biológica del amonio ( $\text{NH}_4$ ) en condiciones aeróbicas, hacia la forma de nitrito ( $\text{NO}_2$ ), o nitrato ( $\text{NO}_3$ ), siendo el óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) un subproducto. En sistemas de pastoreo, la desnitrificación en el suelo es la primer fuente de óxido nitroso, y es más alta cuando existe nitrato disponible en el suelo y carbono orgánico como agente reductor (Pinares, *et al.*, 2009). La nitrificación es un proceso menos importante, pero igualmente los productos de este proceso pueden aumentar concentraciones de nitrato en el suelo y es necesario para que exista posteriormente la desnitrificación (Becoña, G. 2010).

Además del nitrógeno que llega al suelo por efecto de la orina, en sistemas pastoriles existe también otras fuentes como, el aporte de las leguminosas a través de la fijación biológica del nitrógeno y el de las fertilizaciones nitrogenadas. En nuestras condiciones las emisiones generadas por la fertilización nitrogenada no representan una fuente de emisión importante, ya que los volúmenes que se utilizan en sistemas ganaderos son de escasa magnitud; pero en sistemas más intensivos donde se aplican grandes cantidades (aprox. 200 kg urea/ha), las emisiones pueden representar entre un 10-15 % (Becoña, G. 2010).

Las emisiones de óxido nitroso generalmente se expresan como kg  $\text{N}_2\text{O}$  -N/ha/año, y estas pueden variar indudablemente según el grado de intensificación del sistema. En el caso de sistemas más intensivos donde se incrementan tanto el uso de fertilizantes como la dotación animal por hectárea, sin duda son los que poseen las mayores emisiones por unidad de superficie. Pero al igual que el

metano las emisiones se relacionan en función de la productividad (Becoña, G. 2010).

### **Dióxido de carbono**

En la producción animal, excepto por el carbono en el metano, la mayoría del carbono existente en el alimento forrajero es reciclado a la atmósfera como CO<sub>2</sub>, ya sea directamente a través de la respiración, o de forma indirecta a través de la oxidación del carbono, tanto en las excreciones y extracción de carbono en productos de origen animal. Por lo tanto, las emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes de estas fuentes, son ignoradas en los inventarios agrícolas, a menos que haya un cambio de uso de la tierra; por ejemplo transformación de bosques y/o campo natural que se ha sustituido por cultivos forrajeros y pasturas, ya que se entiende que se ha perdido carbono que se encontraba fijado tanto en el suelo como en la estructura vegetal (por ejemplo en los árboles) producto de la fotosíntesis. En virtud de esto, en sistemas ganaderos los procesos que pueden ser responsables de emisiones de dióxido de carbono, son los referentes a la utilización de energía fósil (combustible) en la producción. Estos pueden relacionarse directamente con el uso de combustibles referidos a la utilización de maquinaria, vehículos o producción de energía o indirectamente fuera de los establecimientos por ejemplo mediante el transporte de alimentos (Becoña, G. 2010).

**El metano liberado por la fermentación entérica puede ascender a 86 millones de toneladas al año.**

A escala mundial, el ganado es la fuente antropogénica más importante de emisiones de metano (FAO, 2009).



**Figura 7.** Emisión de metano por ganado bovino en sistemas intensivos (<http://www.google.com.mx>).

Entre los animales domésticos, los rumiantes (bovinos, búfalos, ovejas, cabras y camellos) producen cantidades significativas de metano como parte del normal proceso digestivo. En el rumen, el más grande de los preestómagos de estos animales, la fermentación microbiana convierte los alimentos fibrosos en productos que pueden ser digeridos y utilizados por el animal. Este proceso de fermentación microbiana, conocido como fermentación entérica, produce metano como subproducto, el cual viene exhalado por el animal (FAO, 2009).



**Figura 8.** El metano y los animales domésticos  
(<http://biblioteca.ucm.es/blogs/blogquimica/4651.php>).

El metano también se produce en cantidades más pequeñas en el proceso digestivo de otros animales, incluidos los humanos (EPA, 2005b).

Las emisiones de metano provenientes de la fermentación entérica presentan importantes variaciones espaciales. Así, en el Brasil estas emisiones totalizaron 9,4 millones de toneladas en 1994, lo que representa un 93 por ciento de las emisiones de la agricultura y un 72 por ciento del total de las emisiones nacionales de metano. Más del 80 por ciento de estas emisiones son causadas por el ganado de carne (FAO, 2009).

En los Estados Unidos de América el metano de la fermentación entérica, que ascendió a 5,5 millones de toneladas en 2002, se origina en su gran mayoría en el

ganado de leche y carne. Esta cifra equivale al 71 por ciento del total de las emisiones agrícolas y al 19 por ciento de las emisiones totales del país (EPA, 2004).

Esta variación refleja el hecho de que los niveles de emisión de metano están determinados por los sistemas de producción y las características regionales. En el nivel de emisiones influye la ingesta de energía y otros factores relacionados con la dieta y el animal (cantidad y calidad del pienso, peso vivo del animal, edad y cantidad de ejercicio). Hay también variaciones entre las especies animales y entre individuos de la misma especie. Esta es la razón por la cual una evaluación de las emisiones de metano en un determinado país necesita una descripción detallada de la población ganadera (especies, edad y categorías de productividad), así como información completa sobre el consumo diario de alimento y la tasa de conversión de metano de los alimentos. Dado que la información de que disponen muchos países no posee este nivel de detalle, en el informe de emisiones suele utilizarse un enfoque basado en los factores de emisión estándar (FAO, 2009).



**Figura 9.** Ganado de leche estabulado al abierto alimentándose con forrajes en La Loma, Lerdo, Durango, México.

Las emisiones de metano procedentes de la fermentación entérica cambiarán en la medida en que los sistemas de producción cambien y se orienten hacia sistemas con un mayor uso de alimentos y una elevada productividad (FAO, 2009).

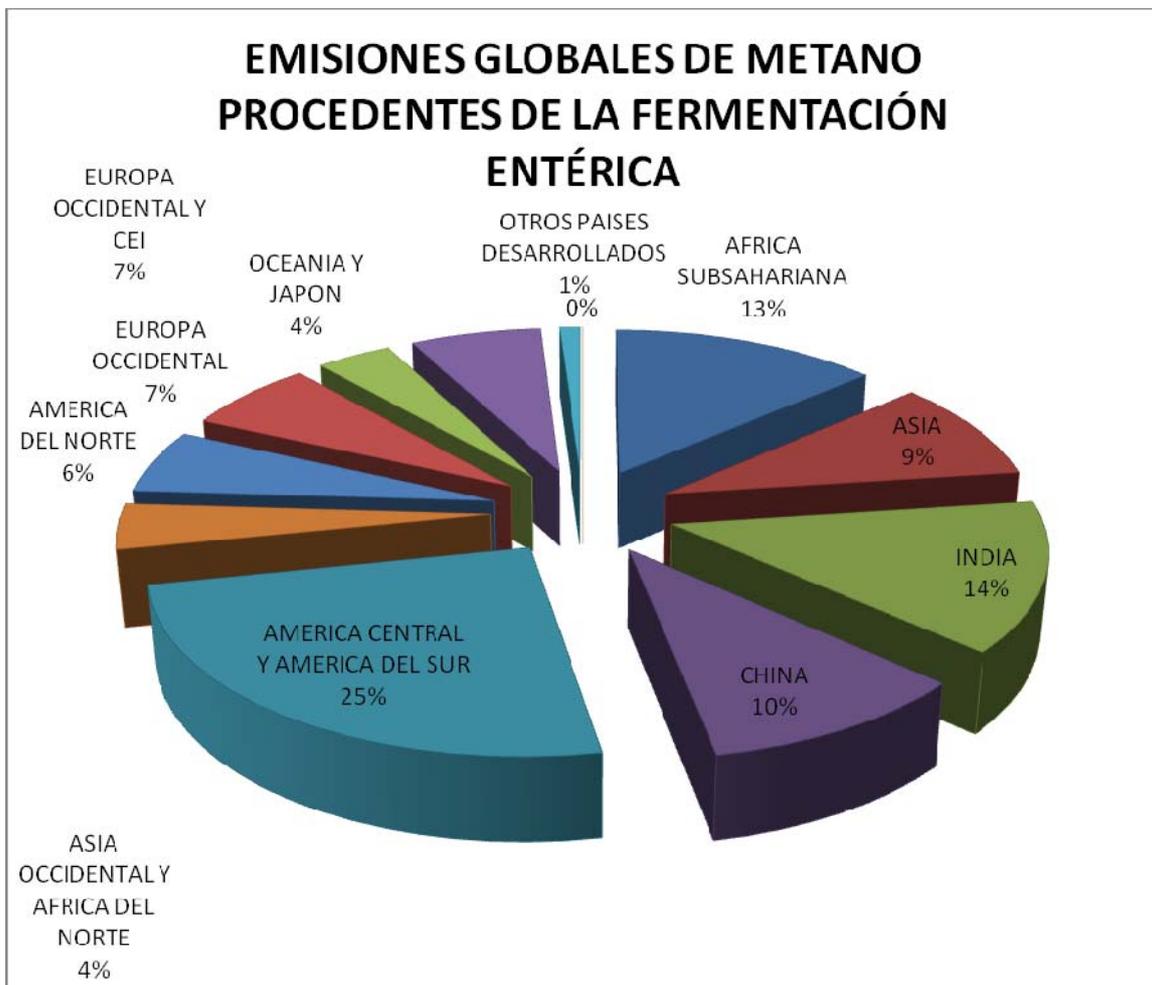
### CUADRO 3. EMISIONES GLOBALES DE METANO PROCEDENTES DE LA FERMENTACIÓN ENTÉRICA (FAO, 2009).

#### Emisiones globales de metano procedentes de la fermentación entérica (2004)

Región/país	Emisiones (millones de toneladas de CH <sub>4</sub> , por año y fuente)					Total
	Ganado de leche	Otro ganado	Búfalos	Ovejas y cabras	Cerdos	
África subsahariana	2,30	7,47	0,00	1,82	0,02	11,61
Asia*	0,84	3,83	2,40	0,88	0,07	8,02
India	1,70	3,94	5,25	0,91	0,01	11,82
China	0,49	5,12	1,25	1,51	0,48	8,85
América Central y América del Sur	3,36	17,09	0,06	0,58	0,08	21,17
Asia occidental y África del Norte	0,98	1,16	0,24	1,20	0,00	3,58
América del Norte	1,02	3,85	0,00	0,06	0,11	5,05
Europa occidental	2,19	2,31	0,01	0,98	0,20	5,70
Oceanía y Japón	0,71	1,80	0,00	0,73	0,02	3,26
Europa oriental y CEI	1,99	2,96	0,02	0,59	0,10	5,66
Otros países desarrollados	0,11	0,62	0,00	0,18	0,00	0,91
<b>Total</b>	<b>15,69</b>	<b>50,16</b>	<b>9,23</b>	<b>9,44</b>	<b>1,11</b>	<b>85,63</b>
<b>Sistemas de producción pecuaria</b>						
Pastoreo	4,73	21,89	0,00	2,95	0,00	29,58
Mixto	10,96	27,53	9,23	6,50	0,80	55,02
Industrial	0,00	0,73	0,00	0,00	0,30	1,04

\* No incluye China y la India

Fuente: ver Anexo 3.2. Cálculos de los autores.



**Figura 10.** Emisiones globales de metano procedentes de la fermentación entérica (Adaptado de FAO, 2009).

**El metano liberado por el estiércol de los animales puede ascender a 18 millones de toneladas al año.**

La descomposición anaeróbica del material orgánico del estiércol del ganado también libera metano (FAO, 2009).

Esto ocurre principalmente cuando el estiércol se maneja en forma líquida, en instalaciones como lagunas o tanques. El sistema de lagunas es típico de la mayoría de las centrales porcícolas a gran escala en casi todos los lugares del mundo (excepto en Europa). Este sistema también se usa en las grandes centrales lecheras de América del Norte y algunos países en desarrollo como el

Brasil. El estiércol depositado en los campos de cultivo o en los pastizales o que se maneja en forma seca no produce cantidades significativas de metano (FAO, 2009).

Las emisiones de metano procedentes del estiércol del ganado están influidas por diversos factores que afectan al crecimiento de las bacterias responsables de la formación de metano, entre los que cabe destacar la temperatura ambiental, la humedad y el tiempo de almacenamiento (FAO, 2009).

La cantidad de metano producida también depende del contenido de energía del estiércol, el cual está determinado en gran medida por la dieta del ganado. Mayores cantidades de estiércol generan mayores cantidades de metano, si bien hay que tener también en cuenta que los piensos con contenidos energéticos más altos producen un estiércol con más sólidos volátiles, lo que incrementa el sustrato a partir del cual se produce el CH<sub>4</sub>. Sin embargo, este impacto queda compensado hasta cierto punto por la posibilidad de lograr piensos más digeribles y, por consiguiente, un menor desperdicio de energía (USDA, 2004).

A escala mundial, las emisiones de metano de la descomposición anaeróbica del estiércol se han estimado en algo más de 10 millones de toneladas, es decir, un 4 por ciento del total de las emisiones antropogénicas de metano (EPA, 2005b). Aunque de magnitud mucho menor que las emisiones procedentes de la fermentación entérica, las emisiones del estiércol son mucho más altas que las originadas por la quema de residuos y similares a las estimaciones más bajas de emisiones de los cultivos de arroz, aún no suficientemente conocidas (FAO, 2009).

Las emisiones provenientes del estiércol más altas corresponden a los Estados Unidos de América (cerca de 1,9 millones de toneladas, inventario de EE.UU. 2004) seguidos por la UE (FAO, 2009).

Los cerdos son los animales que más contribuyen a estas emisiones, seguidos del ganado de leche (FAO, 2009).

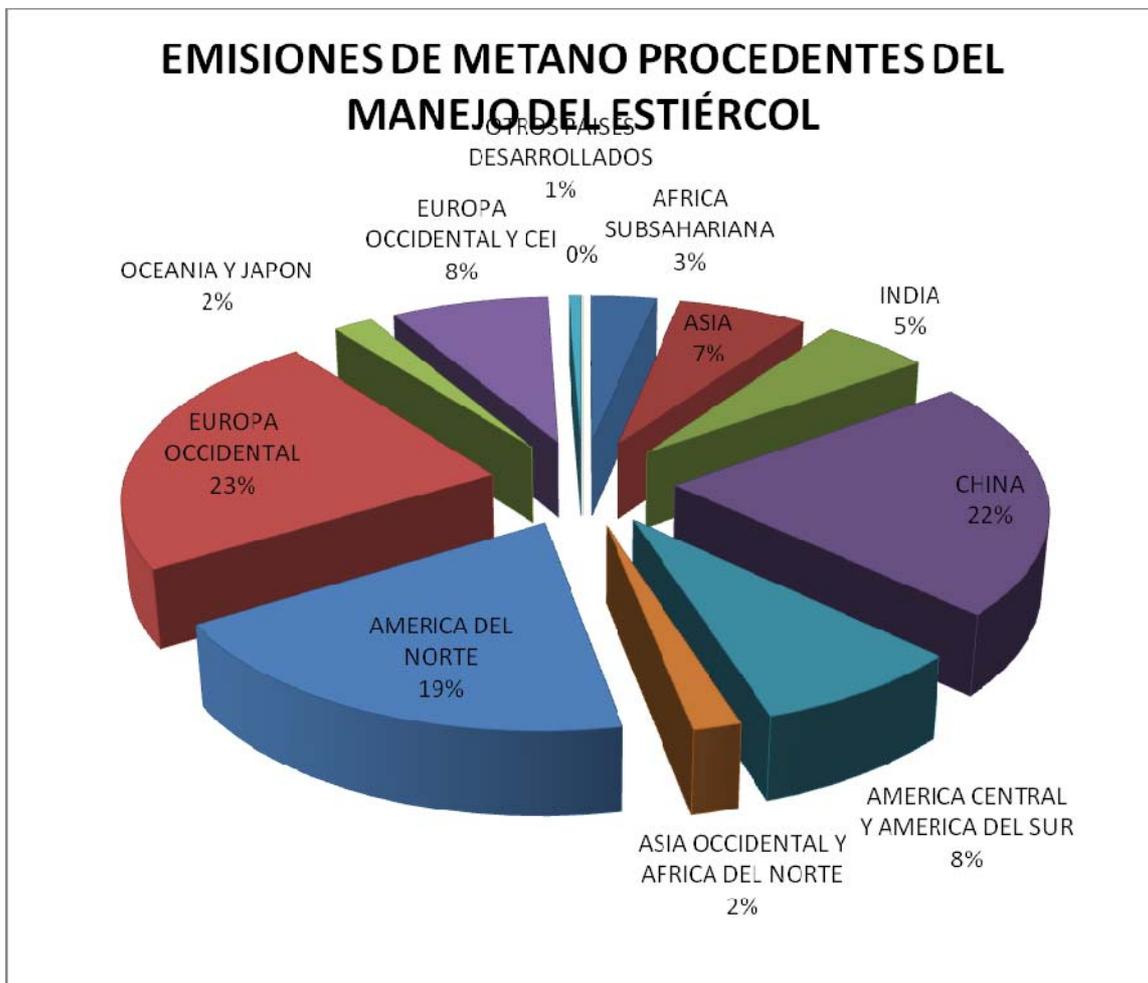
**CUADRO 4. EMISIONES DE METANO PROCEDENTES DEL MANEJO DEL ESTIÉRCOL (FAO, 2009).**

**Emisiones globales de metano procedentes del manejo del estiércol (2004)**

Región/país	Emisiones (millones de toneladas de CH <sub>4</sub> , por año y fuente)						Total
	Ganado de leche	Otro ganado	Búfalos	Ovejas y cabras	Cerdos	Aves de corral	
África subsahariana	0,10	0,32	0,00	0,08	0,03	0,04	<b>0,57</b>
Asia*	0,31	0,08	0,09	0,03	0,50	0,13	<b>1,14</b>
India	0,20	0,34	0,19	0,04	0,17	0,01	<b>0,95</b>
China	0,08	0,11	0,05	0,05	3,43	0,14	<b>3,84</b>
América Central y América del Sur	0,10	0,36	0,00	0,02	0,74	0,19	<b>1,41</b>
Asia occidental y África del Norte	0,06	0,09	0,01	0,05	0,00	0,11	<b>0,32</b>
América del Norte	0,52	1,05	0,00	0,00	1,65	0,16	<b>3,39</b>
Europa occidental	1,16	1,29	0,00	0,02	1,52	0,09	<b>4,08</b>
Oceanía y Japón	0,08	0,11	0,00	0,03	0,10	0,03	<b>0,35</b>
Europa oriental y CEI	0,46	0,65	0,00	0,01	0,19	0,06	<b>1,38</b>
Otros países desarrollados	0,01	0,03	0,00	0,01	0,04	0,02	<b>0,11</b>
<b>Total</b>	<b>3,08</b>	<b>4,41</b>	<b>0,34</b>	<b>0,34</b>	<b>8,38</b>	<b>0,97</b>	<b>17,52</b>
<b>Sistemas de producción pecuaria</b>							
Pastoreo	0,15	0,50	0,00	0,12	0,00	0,00	<b>0,77</b>
Mixto	2,93	3,89	0,34	0,23	4,58	0,31	<b>12,27</b>
Industrial	0,00	0,02	0,00	0,00	3,80	0,67	<b>4,48</b>

\* No incluye China y la India

Fuente: ver Anexo 3.3. Cálculos de los autores.



**Figura 11.** Emisiones de metano procedentes del manejo del estiércol (Adaptado de FAO, 2009).

### Oportunidades para reducir emisiones a nivel agropecuario

La alternativa directa que surge por naturaleza es la reducción a nivel mundial en el número de animales. Plantear esta opción, es observada como una utopía, en un mundo que exige aumentar la producción de alimentos para una población mundial, que carece de una buena distribución de estos actualmente y por si fuera poco se estima que va a crecer en 3 billones para el 2050. La tendencia mundial, por el contrario, se está orientando a un aumento en el uso de insumos y a la intensificación en la producción. Si bien estas tendencias incrementan en parte las emisiones globales, logran mejorar la eficiencia de los sistemas de producción y

reducen las emisiones por unidad de producto. De esta forma vemos como la mejora en la eficiencia productiva y la reducción de la ineficiencia en el uso de los nutrientes por los sistemas, son las grandes oportunidades que se presenta a corto plazo para mitigar o reducir las emisiones de GEI generado por la producción animal (Becoña, G. 2010).

Sin perjuicio de esto existen algunas tecnologías que reducen las emisiones y que ya se encuentran disponibles y son de uso frecuente por parte de los productores. Tal es el caso de la manipulación de la dieta o el uso de modificadores del rumen referente al metano, o la optimización en el uso de fertilizantes nitrogenados y efluentes, uso de inhibidores de la nitrificación, el uso en invierno de encierros o pastoreo restringidos, uso de alimentos con baja nitrógeno, etc., para el caso del óxido nitroso (Becoña, G. 2010).

También se encuentran en estudio algunas tecnologías alternativas de mediano y largo plazo como el uso de modificadores del rumen, forrajes con menores emisiones de CH<sub>4</sub>, la manipulación selectiva de los ecosistemas del rumen y la selección de animales con bajas emisiones de metano y/o óxido nitroso, alternativas estas que demoraran algunos años aún en estar disponibles (Becoña, G. 2010).

En el caso del dióxido de carbono, las opciones de mitigación se basan en los cambios de uso del suelo que aumenten la fijación de CO<sub>2</sub>; esto ocurre principalmente en los bosques y en el suelo por aumento de la cobertura vegetal y carbono en el suelo. Pero, en general malas prácticas de manejo del pastoreo, especialmente el sobrepastoreo, disminuyen en forma importante no solo la cobertura vegetal, sino también la materia orgánica del suelo y por ende el carbono del suelo (Becoña, G. 2010).

### **Reducción de las emisiones de CH<sub>4</sub> provenientes de la fermentación entérica a través de la dieta y el mejoramiento de la eficiencia.**

Las emisiones de metano de los rumiantes no solamente son un peligro ambiental, sino que también generan una pérdida de productividad ya que el metano

representa una pérdida de carbono del rumen y, por lo tanto, un uso ineficiente de la energía alimentaria (EPA, 2005). Las emisiones por animal y por unidad de producto son más altas cuando la dieta es más pobre (FAO, 2009).

El enfoque más promisorio para la reducción de las emisiones de metano del ganado es el mejoramiento de la productividad y la eficiencia de la producción animal a través de una mejora nutricional y genética. Una mayor eficiencia significa que una porción más alta de la energía contenida en el alimento del animal se dirige a la formación de productos útiles (leche, carne, fuerza de tracción), lo que comporta una reducción de la producción de metano por unidad de producto (FAO, 2009).

La tendencia hacia animales de alto rendimiento, y hacia monogástricos y aves de corral en particular, es valiosa en tanto que representa una vía para reducir el metano por unidad de producto. El aumento en la eficiencia de la producción también conlleva una reducción del número de animales necesarios para obtener un nivel determinado de producto. Ya que muchos países en desarrollo están realizando grandes esfuerzos por aumentar la producción de animales rumiantes (sobre todo la producción de carne y leche), es urgente realizar mejoras en la eficiencia de la producción a fin de que estas metas se alcancen sin aumentar el tamaño del hato y las correspondientes emisiones de metano (FAO, 2009).

Existe una oferta tecnológica para la reducción de la liberación de metano procedente de la fermentación entérica. El principio básico es el aumento de la digestibilidad de los alimentos, ya sea modificando el tipo de alimento o manipulando el proceso digestivo. La mayoría de los rumiantes en los países en desarrollo, en particular en África y Asia meridional, consumen dietas muy fibrosas. Técnicamente, el mejoramiento de estas dietas se puede lograr con relativa facilidad por medio de aditivos en el alimento o de suplementos alimenticios. No obstante, es frecuente que los productores de ganado a pequeña escala tengan dificultades para adoptar estas técnicas debido a la falta de capital y conocimientos necesarios (FAO, 2009).

En muchos casos estas mejoras no resultan rentables, por ejemplo en los lugares donde la demanda o la infraestructura es insuficiente. Incluso en un país como Australia, en la producción de leche de bajo costo se concede más importancia a la productividad por hectárea que por vaca, por lo que muchas opciones para la reducción de las emisiones, tales como el suplemento de grasa en la dieta o el aumento de la alimentación con granos, no resultan atractivas (Eckard, Dalley y Crawford, 2000). Otra opción técnica es el aumento del nivel de almidón o de carbohidratos rápidamente fermentables en la dieta, de manera tal que se obtenga una disminución del exceso de hidrógeno y la subsiguiente formación de CH<sub>4</sub>. Una vez más, en los sistemas extensivos de bajo costo, la adopción de estas medidas puede resultar inviable. Sin embargo, en los países grandes, las estrategias nacionales de planificación pueden actuar como catalizadores de estos cambios. Así, por ejemplo, como sugieren Eckard, Dalley y Crawford (2000), la concentración de la producción de leche en las zonas templadas de Australia podría generar una disminución de las emisiones de metano, puesto que los pastos templados poseen una mayor cantidad de carbohidratos solubles y los componentes de la pared celular son fácilmente digestibles.

En EPA (2005) se señala que, en los Estados Unidos de América, la mayor eficiencia de la producción pecuaria ha generado un aumento en la producción de leche y, contemporáneamente, una disminución de las emisiones de metano durante las últimas décadas. El potencial para el aumento de la eficiencia y, por consiguiente, para la reducción de metano, es mayor en los bovinos de carne y otras especies de rumiantes destinadas al mismo fin, cuyas condiciones de manejo son generalmente más pobres y cuyas dietas son de inferior calidad.

EPA (2005) elenca una serie de medidas de manejo que pueden mejorar la eficiencia de la producción del ganado y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, entre las que cabe destacar:

- Mejora de la gestión del pastoreo.

- Análisis de suelos, seguido de la adición de los correctores y fertilizantes apropiados.
- Suplementación de las dietas del ganado con los nutrientes necesarios.
- Fomento de planes preventivos de salud del hato.
- Suministro de los recursos hídricos adecuados y protección de la calidad del agua.
- Mejoramiento genético y de la eficiencia reproductiva.

Cuando se evalúan las técnicas para la reducción de emisiones es importante tener en cuenta que los piensos y los suplementos para piensos utilizados para aumentar la productividad pueden generar una cantidad significativa de emisiones de gases de efecto invernadero, lo que afectaría el balance negativamente. Si la producción de esta clase de alimentos para el ganado aumenta considerablemente, habrá que explorar las opciones para reducir las emisiones durante su proceso de producción (FAO, 2009).

Se están estudiando tecnologías más avanzadas, que aún no son operativas, entre las cuales figuran:

- La reducción de la producción de hidrógeno mediante el estímulo de las bacterias acetogénicas.
- La desfaunación (eliminación de ciertos protozoos del rumen).
- La vacunación (para reducir la metanogénesis).

Estas opciones tendrían la ventaja de que también pueden ser aplicables a los rumiantes criados en pastoreo, aunque la última opción podría encontrar resistencia por parte de los consumidores (Monteny, Bannink y Chadwick, 2006). La desfaunación ha demostrado que puede reducir las emisiones de metano en un 20 por ciento (Hegarty, 1998), pero la aplicación de dosis periódicas del agente desfaunador supone un desafío.

## **Mitigación de las emisiones de CH<sub>4</sub> a través del manejo mejorado del estiércol y el biogás.**

Las emisiones de metano procedentes del manejo del estiércol en condiciones anaeróbicas pueden reducirse fácilmente utilizando las tecnologías actualmente existentes. Estas emisiones se originan en los sistemas industriales y mixtos, en unidades de explotación comercial que tienen capacidad suficiente para invertir en estas tecnologías (FAO, 2009).

El potencial para la reducción de las emisiones producidas durante el manejo del estiércol es muy elevado y cuenta con múltiples opciones. La primera y más obvia es el uso de los piensos equilibrados, en tanto que también tiene influencia en otras emisiones. Unas relaciones C/N más bajas en los piensos generan un aumento exponencial de las emisiones de metano. El estiércol con alto contenido de N emitirá mayores niveles de metano que el estiércol con contenidos de N más bajos. De ahí que un aumento de la relación C/N en los piensos pueda causar una disminución de las emisiones (FAO, 2009).

La temperatura a la que se almacena el estiércol puede afectar significativamente a la producción de metano. En los sistemas de producción donde el estiércol se almacena en galpones (por ejemplo, granjas de cerdos en las que los efluentes se almacenan en estercoleros ubicados en las bodegas del galpón), las emisiones pueden ser más altas que en los sistemas en que el estiércol se almacena al aire libre a temperaturas ambientales más bajas. Una remoción completa y frecuente del estiércol almacenado en fosas estercoleras ubicadas en recintos cerrados puede reducir de manera efectiva las emisiones de metano en climas templados, pero sólo allí donde exista suficiente capacidad de almacenamiento al aire libre y medidas adicionales para evitar las emisiones de CH<sub>4</sub>. La reducción de la producción de gases también se puede lograr a través del enfriamiento del estiércol (por debajo de los 10 °C), si bien esta opción requiere de una mayor inversión y consumo energético, con el riesgo de aumentar las emisiones de dióxido de carbono. El enfriamiento del estiércol líquido puede reducir la

producción de emisiones de CH<sub>4</sub> (y de N<sub>2</sub>O) en un 21 por ciento con respecto al estiércol no sometido a enfriamiento (Sommer, Petersen y Moller, 2004).

Las medidas adicionales incluyen la digestión anaeróbica (que produce biogás como beneficio extra), flamas de quemadores (oxidación química; combustión), biofiltros especiales (oxidación biológica) (Monteny, Bannink y Chadwick, 2006; Melse y van der Werf, 2005), compostaje y tratamiento aeróbico. El biogás es producido por la digestión anaeróbica controlada, la fermentación bacteriana del material orgánico bajo condiciones controladas en un receptáculo cerrado. Generalmente el biogás se compone de un 65 por ciento de metano y un 35 por ciento de dióxido de carbono (FAO, 2009).

Este gas se puede emplear directamente para la producción del calor o luz, o en calderas de gas modificadas para alimentar motores de combustión interna o generadores (FAO, 2009).

Se supone que mediante el biogás se puede lograr un 50 por ciento de reducción de las emisiones en los climas templados para estiércoles que de otra manera se almacenarían de forma líquida y, por lo tanto, tendrían emisiones de metano relativamente altas. En los climas más cálidos, donde se calcula que las emisiones de metano procedentes del almacenamiento de estiércol líquido son tres veces más altas (IPCC, 1997), es posible una reducción potencial del 75 por ciento (Martínez, comunicación personal).

Existen varios sistemas para explotar este gran potencial, como lagunas cubiertas, fosos, tanques y otras estructuras para el almacenamiento líquido (FAO, 2009).

Estas son apropiadas para sistemas de biogás a pequeña y gran escala, con un amplio rango de opciones tecnológicas y grados diferentes de sofisticación. Además, las lagunas cubiertas y los sistemas de biogás producen un efluente que puede ser aplicado a los cultivos de arroz para, de esta manera, evitar la aplicación de estiércol sin tratar y reducir las emisiones de metano (Mendis y Openshaw, 2004). Estos sistemas son una práctica común en muchos países de Asia, en especial en China. En Viet Nam, Tailandia y Filipinas el uso del biogás

también está muy difundido. Una nueva oportunidad en climas cálidos es el uso del biogás como combustible en sistemas modernos de aire acondicionado (por ejemplo, sistema EVAP), lo que comporta un importante ahorro en los costos de la energía (FAO, 2009).

Sin embargo, en la mayor parte de estos países la difusión del uso del biogás sólo ha sido posible gracias a subsidios y otras formas de promoción (FAO, 2009).

Actualmente, la adopción de las tecnologías para la producción de biogás se ve limitada en muchos países por la ausencia de incentivos financieros apropiados y la precariedad de los marcos normativos (FAO, 2009).

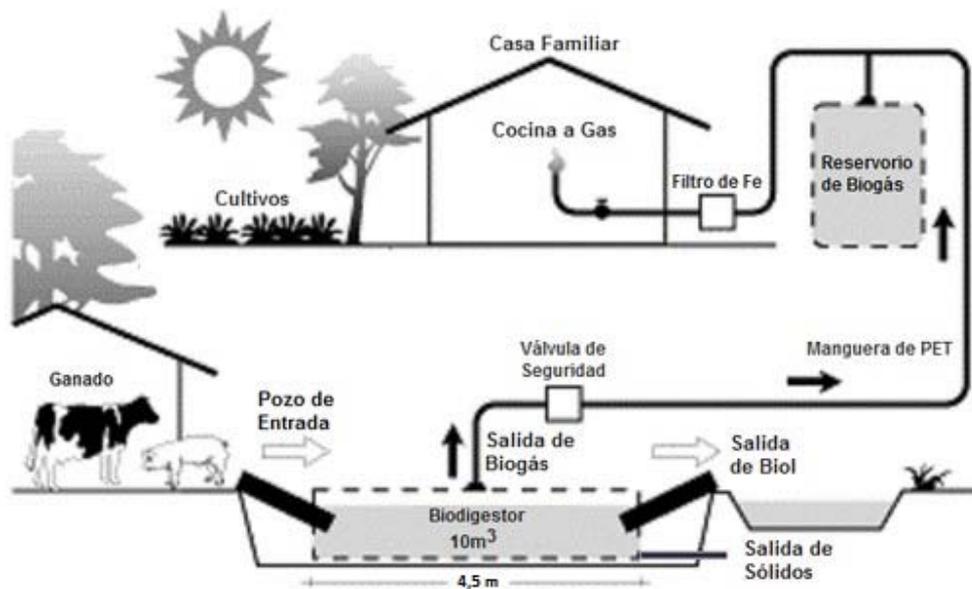
Un uso más extendido de los sistemas de biogás (para el consumo directo en la granja o para el suministro de electricidad a la red pública) depende del precio relativo de otras fuentes de energía. En la actualidad los sistemas de biogás no son competitivos a menos que sean subsidiados o se implanten en lugares remotos donde no hay acceso a la electricidad y otras formas de energía o donde el acceso es poco fiable. La viabilidad del biogás también depende del grado en que existan otras opciones para la codigestión de otros productos de desecho que pueden aumentar la producción de gas (Nielsen y Hjort-Gregersen, 2005).

Los avances en el desarrollo y la promoción de la digestión anaeróbica controlada tendrán efectos positivos adicionales y de gran importancia en otros problemas ambientales causados por los desechos animales y/o en el fomento de fuentes de energía renovables. Así, por ejemplo, la digestión anaeróbica ofrece beneficios en cuanto a la reducción de malos olores y patógenos (FAO, 2009).

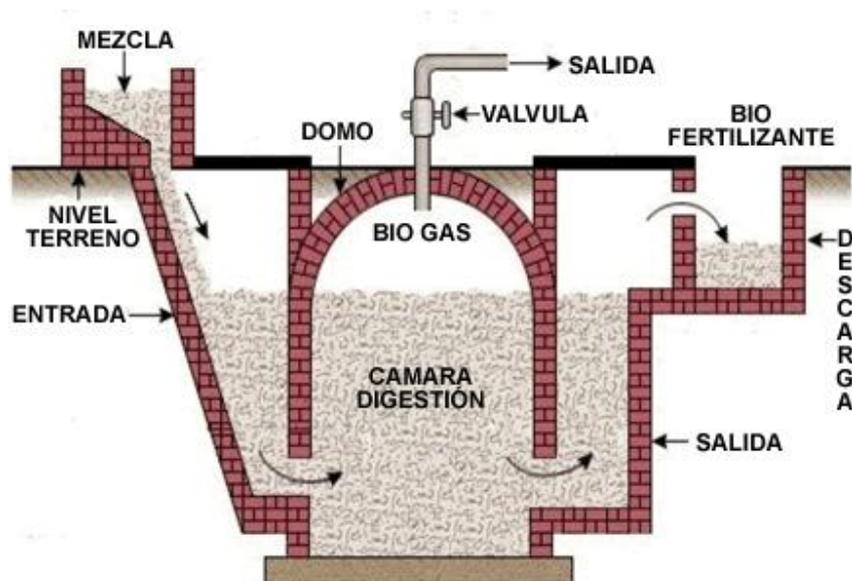
El manejo del estiércol sólido también posibilita la reducción de las emisiones de metano, si bien comporta una demanda mayor de tiempo para el productor. Los tratamientos aeróbicos también pueden utilizarse en la reducción de las emisiones de metano y los malos olores. En la práctica, se aplican al estiércol líquido a través de la aireación y al estiércol sólido por medio del compostaje y, con frecuencia, producen efectos positivos colaterales en cuanto al contenido de patógenos (FAO, 2009).



**Figura 12.** Biodigestor anaeróbico para la producción de biogás (<http://www.google.com.mx>).



**Figura 13.** Esquema de un biodigestor (<http://www.google.com.mx>).



**Figura 14.** Representación gráfica de un biodigestor (<http://www.google.com.mx>).

### Medidas para reducir las emisiones de metano provenientes del ganado vacuno.

Durante los últimos 40 años, en los países en desarrollo, la mayor demanda de productos de origen animal ha sido cubierta, principalmente, por aumentos en el

número de animales y no por un incremento de la productividad individual (Berra, *et al.*, 1994).

Las estrategias para reducir las emisiones de metano a partir de los rumiantes deben:

- Aumentar la producción.
- Ser económicamente viables y efectivas, en las condiciones actuales.
- Ser consistentes con las tradiciones y los sistemas de producción locales (Berra, *et al.*, 1994).

### **Mejora de la nutrición por medio del procesamiento mecánico y químico de los alimentos.**

Una mejora en la nutrición reduce las emisiones de metano por unidad de producto mediante un aumento del rendimiento, incluyendo ganancia de peso, producción de leche y performance reproductiva. También pueden reducirse las emisiones de metano por unidad de energía digestible consumida por el animal. Esta opción es aplicable a rumiantes con recursos alimenticios limitados (Berra, *et al.*, 1994).

Asumiendo que la digestibilidad del alimento aumenta un 5%, las emisiones de metano por unidad de producto podrían disminuir en el orden del 10 al 25%, dependiendo de las prácticas de manejo (Berra, *et al.*, 1994).

- **Tratamiento con álcali/amoniaco a alimentos groseros de baja digestibilidad:** Esta es una técnica probada que mejora la digestibilidad del alimento y, consecuentemente, el rendimiento animal. Varios ensayos a campo han demostrado su efectividad. Sin embargo, este tratamiento ha sido implementado sólo e forma parcial a nivel de establecimientos, debido a que requiere la manipulación de materiales cáusticos. Además, es necesario un adecuado porcentaje de nitrógeno en la dieta para aprovechar las ventajas de una mayor digestibilidad (Berra, *et al.*, 1994).

- **Picado de alimentos groseros de baja digestibilidad:** El picado de alimentos groseros puede aumentar el consumo y, como consecuencia, en algunos casos, la performance animal. Esta práctica queda limitada a algunas áreas, debido a la falta de equipamiento para el picado, para el cual se requiere una inversión de capital moderada (Berra, *et al.*, 1994).

### **Mejora de la nutrición por medio de la suplementación estratégica.**

Una mejora en la función del rumen reducirá las emisiones de metano por unidad de alimento consumido. Además, proveyendo proteína microbiana o by-pass adicional al animal, las emisiones por unidad de producto se reducirían, debido a una mejora en el rendimiento animal. Una mejor función ruminal reduciría las emisiones en alrededor de 5 a 10%. Además, las emisiones por unidad de producto podrían reducirse en 25 a 75% (Berra, *et al.*, 1994).

- **Bloques de melaza / urea:** El balance de la función ruminal, aportando suplementos claves en un bloque de melaza / urea es una técnica que podría ser destinada a animales con dietas que conduzcan a niveles deficientes de amoníaco en rumen. El mayor crecimiento microbiano mejora la relación proteína / energía para el animal y reduce la producción de metano directamente, aumentando la performance. Actualmente, la implementación de esta técnica es limitada por los requerimientos de infraestructura y manufacturación y por el nivel de educación de los productores (Berra, *et al.*, 1994).
- **Bloques de melaza / urea con proteína by-pass:** Los alimentos que aportan proteína by-pass pueden combinarse con los bloques de melaza / urea, mejorando la relación proteína / energía para el animal y, por lo tanto, la performance. La fuente de proteína by-pass debe estar disponible localmente y sería ideal que proviniera de subproductos de las actividades que se llevan a cabo en el país (destilerías, procesamiento de pescado, etc.). Actualmente, la implementación de esta técnica es limitada por falta de evaluaciones de las fuentes potenciales de proteína by-pass, así como

por la infraestructura, manufacturación y nivel de educación de los productores (Berra, *et al.*, 1994).

- **Defaunación:** Consiste en la remoción de los protozoarios del rumen que consumen a otros microorganismos ruminales, mejorando, de esta forma, el aporte de proteína microbiana al animal. La defaunación sería aplicable, principalmente, a los animales en pastoreo, pero no es apta para animales que consumen dietas con elevado porcentaje de granos, altamente energéticas. Los agentes que producen defaunación no están aún disponibles en forma comercial (Berra, *et al.*, 1994).
- **Suplementos de proteína / minerales:** La suplementación proteico - mineral podría utilizarse en situaciones específicas, para corregir deficiencias en la dieta. Esta técnica ha sido aplicada, principalmente, a animales en pastoreo, y ha mejorado satisfactoriamente la eficiencia reproductiva en vacas de cría. Sin embargo, el desconocimiento de las deficiencias críticas, junto con las situaciones de mercado y los precios, han limitado su implementación (Berra, *et al.*, 1994).
- **Bioingeniería de los microorganismos ruminales:** En el largo plazo, por medio de la bioingeniería, podrían desarrollarse microbios que utilizaran más eficientemente el alimento, así como técnicas para suprimir la metanogénesis (Berra, *et al.*, 1994).

#### **Agentes mejoradores de la producción.**

Ciertos agentes pueden actuar directamente para mejorar la productividad, reduciendo, como resultado, las emisiones de metano por unidad de producto (Berra, *et al.*, 1994).

- **Somatotrofina bovina:** La somatotrofina bovina es una hormona de crecimiento producida naturalmente por la glándula pituitaria de los vacunos. Sin embargo, las técnicas de ADN recombinante, que se han desarrollado durante los últimos 15 años, permiten hoy sintetizar

artificialmente grandes cantidades de ella. Las pruebas de desarrollo indican que esta hormona puede mejorar la productividad lechera en un 10 a 20% por lactancia. También es efectiva para aumentar la eficiencia alimentaria y reparticionar el crecimiento a favor del tejido muscular. El uso comercial de la somatotrofina bovina ha sido aprobado en varios países y aún se está considerando en otros (Berra, *et al.*, 1994).

- **Implantes de anabólicos esteroides:** Los implantes son una técnica comercializada y probada en los sistemas de producción de carne, para mejorar la eficiencia alimentaria y la repartición del crecimiento. Sin embargo, estos agentes están prohibidos en la Comunidad Europea (Berra, *et al.*, 1994).
- **Otros agentes:** Se están desarrollando otros agentes, que podrían estar disponibles en el corto a largo plazo (Berra, *et al.*, 1994).

### **Mejoramiento genético.**

Las características genéticas son factores limitantes de la producción, principalmente en los sistemas intensivos. El mejoramiento continuo del potencial genético aumentará la productividad y, por lo tanto, reducirá las emisiones de metano por unidad de producto (Berra, *et al.*, 1994).

- **Cruzamientos en países en desarrollo:** La efectividad de esta técnica todavía es materia de discusión. Algunos afirman que las razas nativas se comportan mejor en sus ambientes naturales y que las características genéticas no son factores limitantes de la producción. La importancia de los factores genéticos aumenta a medida que mejora la nutrición (Berra, *et al.*, 1994).
- **Mejoramiento genético continuo en el ganado lechero:** Se espera que las características genéticas del ganado lechero continúen mejorando en el futuro. Los principales países productores de leche tienen programas reproductivos adecuados. Se usan sistemas de registro detallados para

llevar a cabo evaluaciones cuantitativas del potencial genético de vacas y toros. Las técnicas de clonación y trasplante embrionario, que se espera serán aplicadas en el mediano plazo, posibilitarán acelerar el mejoramiento en el potencial genético de los rodeos lecheros (Berra, *et al.*, 1994).

- **Manipulación transgénica:** En el largo plazo, será posible transferir caracteres genéticos deseables entre especies. Esta es una técnica promisoría para mejorar la eficiencia de producción en rumiantes mayores (Berra, *et al.*, 1994).

### **Mejoramiento reproductivo.**

Grandes cantidades de rumiantes son mantenidos con el propósito de producir crías. Si la eficiencia reproductiva aumenta, las emisiones de metano por unidad de producto pueden reducirse significativamente. Las opciones nutricionales que se describieron anteriormente pueden mejorar la reproducción. Además, las medidas siguientes apuntan directamente al aspecto reproductivo (Berra, *et al.*, 1994).

- **Producción de mellizos:** Actualmente, se están desarrollando técnicas para producir mellizos sanos, a partir del ganado vacuno. Con una adecuada nutrición de la madre y las crías, esta técnica puede reducir sustancialmente el número total de madres necesarias para producir terneros (Berra, *et al.*, 1994).
- **Trasplante embrionario:** Embriones producidos por superovulación de vacas genéticamente superiores pueden transferirse a vacas adoptivas, con mérito genético inferior. De esta forma, se libera a la vaca mejor del prolongado período de gestación, redireccionando la energía hacia una mayor cantidad de ovulaciones. Esta técnica tiene el potencial para mejorar la eficiencia reproductiva general (Berra, *et al.*, 1994).
- **Inseminación artificial y sincronización de celo:** Estas son técnicas reconocidas para mejorar la eficiencia reproductiva. Su implementación

está limitada a los sistemas intensivos, en los que es posible el contacto frecuente con las vacas (Berra, *et al.*, 1994).

### **Estrategias Potenciales para Disminuir la Emisión de Metano de Fermentación (en Relación a la Alimentación).**

#### **Características de los animales.**

- Selección de vacunos por alta eficiencia neta de alimentación (producen igual cantidad de carne pero con un menor consumo de alimento).
- Selección de vacunos por fisiología / microbiología ruminal, que hace que tengan una tasa de pasaje del alimento más rápida (Gil y Susana, 2006).

#### **Características del rumen.**

Las bacterias productoras de metano captan el hidrógeno de fermentación para sacarlo del medio ruminal, con el fin de que el pH no se torne ácido ( $\text{pH} < 5,3$ ), con la cual el bovino entraría en un cuadro patológico de acidosis metabólica (Gil y Susana, 2006).

#### **Entre las distintas estrategias en estudio se encuentran:**

- **Aditivos y análogos del metano** (halogenados) que inhiben la producción de metano. Se está buscando extender el período de acción (Gil y Susana, 2006).
- **Adición de grasas o aceites** a la dieta en un 7% o más. Además de incorporar energía, tienen efecto tóxico sobre las bacterias metanogénicas (bact. met.). Se puede utilizar aceite de coco, de canola. Disminuye la producción del gas metano y el número de bact. Met (Gil y Susana, 2006).
- **Aditivos ionóforos** (monensina, lasalocid). Disminuye la liberación de hidrógeno de ciertos compuestos como el formato. Se favorece el crecimiento de cepas de bacterias productoras de ácido propiónico en detrimento de las bact. met. No son de larga duración, posiblemente por

aparición de resistencia de estas bacterias. Habría que rotar entre distintas drogas ionóforas (Gil y Susana, 2006).

- **Aumento de la oxidación del metano** en rumen por adición de un oxidante aeróbico (*Brevibacillus parabrevis*). Se supone que elimina oxígeno al medio ruminal (Gil y Susana, 2006).
- **Control biológico** Se estudiaron virus específicos (bacteriófagos) contra las bact. met. Se torna difícil implementarlo ya que existen distintas cepas de estas bacterias (Gil y Susana, 2006).
- **Alteración de la ecología ruminal por métodos indirectos.**
  - Inmunización. Vacuna contra las bact. met. Para disminuir su número en rumen (Gil y Susana, 2006).
  - Eliminación de los protozoos del rumen que son fuente productora de hidrógeno (*Chytrid fungi, virus*) (Gil y Susana, 2006).
  - Bacteriocinas con efecto bactericida sobre las bact. met. El mecanismo no está clarificado. Son producidas dentro del mismo rumen, por ejemplo, por distintas cepas del *Butyrivibrio* (Gil y Susana, 2006).

## **Conclusión**

Como se ha visto, el sector pecuario es un elemento muy importante de estrés para muchos ecosistemas y para la totalidad del planeta. A nivel global es una de las mayores fuentes de gases de efecto invernadero y uno de los causantes principales de la pérdida de biodiversidad, mientras que en los países desarrollados y emergentes es quizás una de las principales fuentes de contaminación.

El sector pecuario es también un agente fundamental en la economía agrícola, un importante proveedor de medios de vida para los pobres y un determinante clave de la dieta y la salud humana. Por esta razón su papel en los problemas del medio ambiente debe considerarse en el contexto de sus múltiples y variadas funciones, en una gran diversidad de ambientes naturales y económicos, y en función de objetivos de políticas muy diversos.

## Literatura citada

- Becoña, G., Wedderburn, E. 2010. Revisión de los sistemas de producción vacuna a cielo abierto, en Uruguay y Nueva Zelanda, y la influencia de factores de conducción contemporáneos internos y externos. AgResearch, Plan Agropecuario.
- Berra, G., Castuma, E., Finister, L. y Maldonado, V.1994. Reducción y Opciones de Mitigación de Emisiones de Metano. Ministerio de Desarrollo Social y Medio Ambiente Secretaria de Desarrollo Sustentable y Política Ambiental.
- Clark, H. (2009). Methane emissions from ruminant livestock; are they important and can we reduce them? Proceeding of the New Zealand Grassland Association 71. Pag 73-76.
- Colque Pinelo, Ma. T. y Sánchez Campos, V. E. 2007. Los gases de Efecto Invernadero: ¿Por qué se produce el calentamiento global? Recuperado el 24 de febrero de 2013, de [www.labor.org.pe](http://www.labor.org.pe) y <http://www.foei.org/esp/climate/index.html>.
- Eckard, R., Dalley, D. y Crawford, M. 2000. Impacts of potential management changes on greenhouse gas emissions and sequestration from dairy production systems in Australia. Proceedings workshop "Management Options for Carbon Sequestration in Forest, Agricultural and Rangeland Ecosystems", CRC for Greenhouse Accounting, Canberra.
- EPA. 2005a. Mid-Atlantic Integrated Assessment (MAIA). Agencia Federal de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos de América.
- EPA. 2004. US emissions inventory 2004: Inventory of u.s. greenhouse gas emissions and sinks: 1990-2002. Agencia Federal de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos de América.
- EPA. 2005b. Global warming - Methane. Agencia Federal de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos de América (disponible en <http://www.epa.gov/methane/>. Último acceso: junio de 2008).
- FAO. 2006b. FAOSTAT. Roma (disponible en <http://faostat.fao.org/default.aspx?lang=es>).

FAO. 2009. La Larga Sombra del Ganado. Problemas Ambientales y Opciones. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, 2009.

Gil, B., Susana, M.V. 2006. Engorde Intensivo (FEEDLOT), Elementos que Intervienen y Posibles Impactos en el Medio Ambiente.

Hegarty, R.S. 1998. Reducing methane emissions through elimination of rumen protozoa. En P.J Reyenga y S.M. Howden, eds., Meeting the Kyoto Target. Implications for the Australian Livestock Industries. Bureau of Rural Sciences, 55-61.

<http://biblioteca.ucm.es/blogs/blogquimica/4651.php>. Ultimo acceso: junio 2013.

<http://www.google.com.mx>. Ultimo acceso: junio 2013.

IPCC. 1997. Revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories - Reference manual (Volumen 3). Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (disponible en [www.ipccnggip.iges.or.jp/public/gl/invs6.htm](http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/gl/invs6.htm). Último acceso: junio de 2008).

Melse, R.W. y van der Werf, A.W. 2005. Biofiltration for mitigation of methane emissions from animal husbandry. *Environmental Science y Technology*, 39(14): 5460-5468.

Mendis, M. y Openshaw, K. 2004. The clean development mechanism: making it operational. *Environment, Development and Sustainability*, 6(1-2): 183-211.

Methol, M. (2009). Factores que afectan la emisión de metano de la producción ganadera en sistemas pastoriles. Emisiones de metano y óxido nitroso: principales gases de efecto invernadero producidos por el sector agropecuario en Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. Pag 32-62.

Monteny, G.J., Bannink, A. y Chadwick, D. 2006. Greenhouse gas abatement strategies for animal husbandry. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 112:163-170.

Nielsen, L.H. y Hjort-Gregersen, K. 2005. Greenhouse gas emission reduction via centralized biogas co-digestion plants in Denmark. *Agric. Ecosys. Environ.* 112.

Pinares, C; Waghorn, G; Hegarty, R; Hoskin, S (2009). Effects of intensification of pastoral farming on greenhouse gas emissions in New Zealand. *New Zealand veterinary journal* 57. Pag. 252-261.

Semarnat. Cambio climático. Ciencia, evidencia y acciones. México. 2009.

Sommer, S.G., Petersen, S.O. y Moller, H.B. 2004. Algorithms for calculating methane and nitrous oxide emissions from manure management. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 69: 143–154.

USDA. 2004. US agriculture and forestry greenhouse gas inventory: 1990-2001. U.S. Department of Agriculture, Global Climate Change Program, Technical Bulletin n.º 1907 (disponible en [www.usda.gov/oce/global\\_change/gg\\_inventory.htm](http://www.usda.gov/oce/global_change/gg_inventory.htm). Último acceso: junio de 2008).