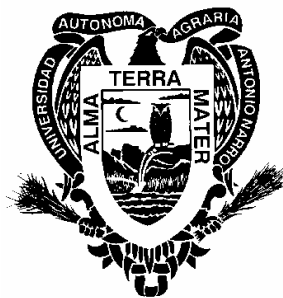


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

División de Ciencias Socioeconómicas



**BIOGÁS COMO FUENTE DE ENERGÍA**

Por:

**JOSÉ FRANCISCO TORRES ZÁYAGO**

MONOGRAFÍA

Presentada como Requisito Parcial para

Obtener el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

En desarrollo rural

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Junio de 2006.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"  
DIVISIÓN DE CIENCIAS SOCIOECONÓMICAS  
DEPARTAMENTO SOCIOLOGÍA

**BIOGÁS COMO FUENTE DE ENERGÍA**

Por:

**JOSÉ FRANCISCO TORRES ZÁYAGO**

MONOGRAFÍA

Que se somete a la consideración del H. jurado calificador como  
requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN DESARROLLO RURAL**

APROBADA

EL PRESIDENTE DEL JURADO

---

Arq. Francisco Dávila Ramos

---

Dr. Rubén López Cervantes  
Sinodal

---

Lic. Griselda Valdés Ramos  
Sinodal

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CIENCIAS SOCIOECONÓMICAS

---

Ing. Eduardo Fuentes Rodríguez.

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Junio de 2006.

## AGRADECIMIENTOS

*A “Dios y a la Virgen de Guadalupe”*

*Por haberme brindado la oportunidad de haber nacido y no dejarme solo y darme la oportunidad de vivir y guiarme por el camino correcto durante todo este tiempo dándome la oportunidad de llegar a esta etapa de mi vida por todo gracias.*

*A mi “Alma Mater” (UAAAN), por haberme dado la oportunidad de realizar una de las metas de mi vida, gracias por haberme abierto tus puertas.*

*A las personas que me ayudaron en la revisión de este trabajo:*

*Arq. Francisco Dávila Ramos*

*Lic. Griselda Valdés Ramos*

*Dr. Rubén López Cervantes.*

*Y de manera especial a la Lic. Griselda que al mismo tiempo me ha brindado su amistad y consejos, gracias por su apoyo.*

*A ellos muchísimas gracias sin su apoyo nada de esto fuera posible.*

## DEDICATORIAS

### ❖ *A MIS PADRES:*

*Eustorgio Torres Becerra*

*Angélica Záyago Morales*

*Dedico este trabajo con mucho respeto, cariño y amor a mis padres quienes me dieron la vida y gracias a ellos pude lograr este sueño, por enseñarme el buen camino, por sus consejos y sacrificios que hicieron para darme todo lo necesario en mi formación, ya que sin ellos no hubiera podido lograr esta meta.*

### *A TI PADRE*

*Por ser una persona muy especial en mi vida, tu que has sabido siempre guiarme por el buen camino, por darme la oportunidad de superarme a ti a quien a mis hermanos y a mi, aún con todas las dificultades nos hiciste hombres de bien y nos enseñaste además, que solo "el ser alguien" se pueden enfrentar los retos de la vida.*

*Ahora ya seré ese alguien.*

### *A TI MADRE*

*Por ser lo más hermoso de tenerte a ti madre, porque me diste la vida, tu cariño, cuidados, sacrificios; por que siempre has estado conmigo en todo, por tus consejos que siempre los tengo presentes; por todo lo que has hecho por mi GRACIAS MADRE MÍA.*

❖ *A MIS HERMANOS*

*José Guadalupe, Fernando, Angélica, y Danielita.*

*Con mucho cariño para ellos, ya que son una parte muy especial en mi vida a quienes agradezco su confianza y el apoyo brindado en los momentos difíciles en mi estancia en la universidad impulsándome en el logro de mi carrera profesional.*

❖ *A MIS SOBRINAS Y CUÑADA.*

*Andrea Guadalupe, Sabina Aidé, y Juana Muños.*

*Las niñas junto con mis hermanitas por ser unos angelitos que dios nos regalo, por compartir sus alegrías y travесuras y a mi cuñada por su apoyo y confianza en mi carrera.*

❖ *A MIS ABUELOS.*

*Isabel Becerra Lozano (+)  
Arturo Torres Pastrana*

*Isabel Morales Fuentes (+)  
Evaristo Zayago.*

*A ellos con mucho respeto porque han influido a lo largo de mi vida de una manera positiva; aunque ellas ya no están físicamente se que de donde se encuentren comparten esta alegría, siempre los llevaré en mi corazón.*

❖ *A MIS MEJORES AMIGOS*

*Ángel, Víctor (+), y Jaime; gracias que digo amigos hermanos por todos los momentos compartidos.*

❖ *A TODAS LAS PERSONAS QUE ME APOYARON MIL GRACIAS.*

*Fam. de la peña Moreno y Moreno López, especialmente a ti Rosi, con mucho respeto nunca podré pagar todo tu apoyo gracias. A Felipe por su gran amistad. Gerardo, Juan Luis, a Mauro y Margarita, a los compañeros que te alientan a ser mejor cada día, a todos mis familiares y conocidos por su apoyo gracias discúlpenme si omito a alguno.*

❖ *A LOLITA MI GRAN AMOR*

*Lolita, cada cual traza el camino, y no es producto de la casualidad así que ahora quiero darte las gracias a ti HILDA DOLORES CRUZ JERÓNIMO por haber compartido todo este tiempo conmigo, por tu inmenso apoyo cuando lo necesitaba, ya que nunca a pesar de todo me dejaste solo y soportaste cuando estaba enojado, por brindarme momentos de alegría y felicidad, por los ánimos cuando decaigo; pero sobre todo por tu amor muchas gracias TE AMO MI NIÑA LINDA.*

❖ *POR ÚLTIMO A MIS COMPAÑEROS DE LA CARRERA*

*Azucena, Ambrosio, Erasmo, y Oscar muchas gracias muchachos por los momentos que compartimos y por su amistad desinteresada, pero sobre todo siempre los recordaré por que son gente firme en sus decisiones e ideales, mucha suerte en lo que realicen nunca cambien esa mentalidad.*

*De manera muy especial a Nancy Márquez aunque no se donde estás, aquí está lo prometido, Dios te bendiga, de igual manera a Brígida por su amistad, apoyo y consejos muchas gracias sé que algún día las volveré a ver.*

## ÍNDICE GENERAL

	Página
<b>DEDICATORIAS</b> .....	i
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	ii
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	v
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	vi
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	11
<b>CAPÍTULO I. MARCO METODOLÓGICO.</b>	
Antecedentes.....	13
Justificación .....	15
Objetivo.....	17
<b>CAPÍTULO II. LA PRODUCCIÓN Y CONSUMO ENERGÉTICO</b>	
<b>A NIVEL MUNDIAL.</b>	
El aumento de la temperatura por el efecto invernadero.....	18
El Calentamiento Global.....	19
Datos mundiales sobre energía.....	20
<b>CAPÍTULO III. LAS ENERGÍAS RENOVABLES.</b>	
Ventajas y desventajas de las energías renovables.....	22
La energía mini-hidráulica.....	22
La energía del viento o eólica.....	23
La biomasa.....	24
La energía fotovoltaica .....	26
La energía geotérmica.....	26

La energía de las olas y las mareas.....	27
<b>CAPÍTULO IV. EL BIOGÁS COMO FUENTE DE ENERGÍA.</b>	
¿Qué es el biogás?.....	28
Origen del biogás.....	30
Usos del biogás.....	31
Beneficios de la tecnología del biogás.....	35
Ventajas y Desventajas del biogás.....	36
Biogás a nivel mundial.....	36
Biogás en México.....	39
Composición y propiedades del biogás.....	40
<b>CAPÍTULO V. FERMENTACIÓN ANAERÓBICA.</b>	
Primera etapa.....	42
Segunda etapa.....	42
Tercera etapa.....	42
Temperatura.....	44
Tiempo.....	45
Agitación.....	45
Presión.....	45
<b>CAPÍTULO VI. PROCESO DE FERMENTACIÓN.</b>	
Lagunas de oxidación .....	46
Rellenos sanitarios.....	46
Pozos sépticos.....	47



## **CAPÍTULO VII. PRINCIPALES TIPOS DE BIODIGESTORES.**

Digestores convencionales.....	48
Sistema Hindú o Kwick.....	48
Sistema Chino o szchawn.....	50
Digestores tipo bolsa.....	52
Digestores de alta velocidad o flujo inducido.....	53
Digestores de segunda y tercera generación.....	54
Elementos que componen un digestor.....	56
Instalación y funcionamiento del digestor anaeróbico.....	59
Ventajas de los biodigestores.....	60

## **CAPÍTULO VIII. PROCESOS DE DIGESTIÓN.**

Producción de estiércol en México.....	66
Las Bacterias metano génicas.....	67
El proceso anaeróbico.....	69
Ventajas del uso de la digestión en la producción de biogás y abono biológico.....	71
Etapa de digestión.....	71
¿Qué es la biodegradación?.....	72
Elaboración del biofertilizante anaeróbico.....	73
El metano.....	75
Lineamientos básicos.....	76
Consideraciones finales.....	77
<b>Conclusiones</b> .....	78
<b>Bibliografía</b> .....	80

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Consumo Energético Mundial en Millones de Toneladas Equivalentes de Petróleo (TEP).....	18
Tabla 2 Aplicaciones del biogás.....	34
Tabla 3 Valores promedio del poder calorífico de diferentes combustibles y su equivalente referido al biogás.....	41
Tabla 4 Características del material de fermentación.....	43
Tabla 5 Análisis del estiércol de bovino.....	63
Tabla 6 Análisis del fertilizante líquido.....	64
Tabla 7 Producción de estiércol por día y por especie.....	67
Tabla 8 Características del biofertilizante y su valor promedio.....	74

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ilustración de una central mini hidráulica antigua.....	23
Figura 2 Color de las diferentes temperaturas de corrientes de aire.....	24
Figura 3 Diagrama de la definición de biomasa.....	25
Figura 4 Erupción Volcánica tipo de energía geotérmica.....	26
Figura 5 Olas ocasionadas por la atracción de la luna sobre la tierra.....	27
Figura 6 Flama de biogás.....	29
Figura 7 Diagrama sobre las aplicaciones del biogás.....	31
Figura 8 Diagrama de la tecnología de la fermentación anaeróbica.....	32
Figura 8 Diagrama sobre diferentes logotipos sobre biogás.....	37
Figura 9 Digestor tipo hindú.....	49
Figura 10 Ejemplo de digestor hindú.....	50
Figura 11 Esquema de un digestor tipo chino.....	51
Figura 12 Esquema del digestor de polietileno tipo saco.....	52
Figura 13 Diagrama tecnológico de un reactor anaerobio.....	71

## INTRODUCCIÓN

Debido a la creciente problemática sobre la tala inmoderada de los bosques, es necesario tomar un poco de conciencia, ya que la devastación de los bosques día con día se deteriora a un ritmo impresionante. Los pobladores de las comunidades rurales, emplean el material de los bosques como fuente de energía, lo cual es un problema severo, ya que no existe reposición del material vegetal. Una alternativa para que los pobladores rurales ya no continúen deteriorando los bosques, es la producción de biogás a base de estiércol de bovino y caprino, con lo cual se reduciría la tala inmoderada de los bosques (Campos,1999; 5).

Hasta hoy, y desafortunadamente en un futuro no tan cercano, el 90 % de las necesidades energéticas de nuestro planeta son satisfechas con la utilización de combustibles fósiles (petróleo, gas, carbón) todos ellos extinguidos, fuertemente contaminantes y utilizados en forma ineficiente, por el interés predominante de la producción de energía sobre el de su efecto ecológico. Para esto, como ya es conocido, en los últimos años las fuentes alternativas han ido adquiriendo importancia cada vez mayor en casi todo el mundo, básicamente por razones energéticas y ambientales, y también ha sido una tendencia mundial.

El déficit de energía que sufre el mundo actual y en particular en Cuba, tiene una situación cada vez menos favorable. Las fuentes tradicionales de energía (combustibles fósiles, electricidad, etc.) no parecen ser solución sino a muy largo plazo. Si trasladamos este déficit a las zonas rurales, el problema se agrava aún más, ya que la carencia de la energía obligará a los campesinos a satisfacer esta necesidad, utilizando a gran escala la leña y desperdicios agrícolas (estiércol y residuos de cosecha como se mencionó de manera general anteriormente).

Los expertos en reservas energéticas, advierten de que el gas natural y el petróleo son necesarios para la producción tanto de biogás como de biofertilizantes buscando con esto un doble propósito, ya que al igual de la obtención del gas, se puede elaborar un fertilizante que sirva a los agricultores en sus cultivos, además, de ser menos peligroso que los fabricados, por lo tanto, se requiere de otra tendencia para la producción del biogás y fertilizante para que este ayude en un futuro. (Crooks,1994; 14 -17).

Ante esta necesidad de fuentes de energía y por ende de subsistencia, es necesaria la creación de nuevas técnicas generadoras de biogás, como la biodegradación anaeróbica del estiércol de bovinos, la cual tarda aproximadamente 45 días en función de la estación climática del año. Este mismo material adicionado al suelo por las técnicas habituales tarda en degradarse aproximadamente un año. La producción de biogás obtenida por la fermentación anaeróbica no se mineraliza hasta CO<sub>2</sub> y agua como sucede en condiciones aeróbicas, es decir, se producen compuestos orgánicos fácilmente aprovechables que no sólo sirven como fuentes de carbono y de nitrógeno, sino también como fuentes de energía para la microflora heterotrófica del suelo. (Queitch,1997;20)

Al considerar lo anterior, se busca proporcionar a las personas que habitan en comunidades rurales, los conocimientos necesarios para que ellos mismos puedan producir su propio gas y así reducir en gran medida la tala inmoderada de los bosques y a su vez, evitarles largas caminatas en busca de leña de una forma sencilla y barata.

El déficit de energía que sufre el mundo actual y en particular en países con alto índice de pobreza, tienen una situación cada vez menos favorable. Las fuentes tradicionales de energía (combustibles fósiles, electricidad, entre otras.) no parecen ser solución sino a muy largo plazo. Si trasladamos este déficit a las zonas rurales, el problema se agrava aún más, ya que la carencia de la energía obligará a los campesinos a satisfacer esta necesidad, utilizando a gran escala la leña y desperdicios agrícolas (estiércol y residuos de cosecha). Con este trabajo de investigación se propone una alternativa no sólo para el medio rural, sino para los habitantes de las ciudades, ya que el costo del gas natural es muy elevado y se pretende un ahorro substancial.

Ante este problema, se plantea la necesidad de encontrar una tecnología apropiada, utilizando recursos locales disponibles como son los residuos orgánicos (heces humanas, estiércoles y desperdicios de alimentos), los cuales pueden ser usados como simple medio para producir biogás y biofertilizante por medio de plantas de biogás.(Marchain,1997;16-18).

## CAPÍTULO I. MARCO METODOLÓGICO

### Antecedentes

Se sabe que el hombre antiguamente conocía la existencia del biogás, pues este se produce en forma natural en los pantanos, de allí que se le llama gas de los pantanos. En la Argentina se encuentra en el delta del Paraná donde se perfora hasta llegar a alcanzarlo con una cañería, obteniéndose el biogás acumulado por la naturaleza.

En 1808 Humpry Davy produce gas metano (principal componente del biogás) en un laboratorio. Se toma este acontecimiento como el inicio de la investigación en biogás. Desde esos días hasta la actualidad mucho se ha avanzado sobre el tema y actualmente se cuenta en instalaciones que van desde la pequeña escala doméstica hasta las aplicaciones agroindustriales. China es el país que ha llevado a la práctica el uso del biogás en mayor escala; existen allí más de siete millones de digestores rurales en funcionamiento, los que proveen gas para cubrir necesidades de cocción e iluminación, a la vez que van recuperando suelos degradados a través de ciclos de cultivos.

La India experimenta desde 1939 con diversos sistemas para aplicar en climas fríos o cálidos. En Europa y en Estados Unidos se investigan los complejos fenómenos químicos que ocurren durante el proceso de digestión. En la Segunda Guerra Mundial, la crisis de combustibles hizo que las investigaciones en esta área aumentaran, forzando el desarrollo a pequeña y gran escala. Años más tarde debido a los aspectos negativos de esta tecnología por depender principalmente de temperaturas superiores a los 30<sup>0</sup>C y por comodidad y conveniencia de otros tipos de combustibles, esta tecnología pasó al olvido.

En China, India y Sudáfrica, debido a la escasez de recursos económicos estos métodos se difundieron y desarrollaron de tal manera que hoy en la actualidad estos países cuentan con más de 30 millones de biodigestores funcionando, además desarrollaron técnicas de generación gaseosa a pequeña y gran escala.(Humpry,1986;45).

En la República Argentina la investigación sobre el tema está a cargo del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), que ha desarrollado un proyecto denominado digestor anaeróbico productor de biogás calefaccionado por energía solar.

Cuando en 1973 se produjeron eventos importantes en el mercado del petróleo en el mundo, que se manifestaron en los años posteriores en un encarecimiento notable de esta fuente de energía no renovable, resurgieron las preocupaciones sobre el suministro y precio futuro de la energía. Resultado de esto, los países consumidores, enfrentados a los altos costos del petróleo y a una dependencia casi total de este energético, tuvieron que modificar costumbres y buscar opciones para reducir su dependencia de fuentes no renovables. Entre las opciones para reducir la dependencia del petróleo como principal energético, se reconsideró el mejor aprovechamiento de la energía solar y sus diversas manifestaciones secundarias tales como la energía eólica, hidráulica y las diversas formas de biomasa; es decir, las llamadas energías renovables. Así, hacia mediados de los años setenta, múltiples centros de investigación en el mundo retomaron viejos estudios, organizaron grupos de trabajo e iniciaron la construcción y operación de prototipos de equipos y sistemas operados con energéticos renovables. Asimismo, se establecieron diversas empresas para aprovechar las oportunidades que se ofrecían para el desarrollo de estas tecnologías, dados los altos precios de las energías convencionales. En la década de los ochenta, aparecen evidencias de un aumento en las concentraciones de gases que provocan el efecto de invernadero en la atmósfera terrestre, las cuales han sido atribuidas, en gran medida, a la quema de combustibles fósiles. Esto trajo como resultado una convocatoria mundial para buscar alternativas de reducción de las concentraciones actuales de estos gases, lo que llevó a un replanteamiento de la importancia que pueden tener las energías renovables para crear sistemas sustentables. Como resultado de esta convocatoria, muchos países, particularmente los más desarrollados, establecen compromisos para limitar y reducir emisiones de gases de efecto de invernadero renovando así su interés en aplicar políticas de promoción de las energías renovables.

Hoy en día, más de un cuarto de siglo después de la llamada *crisis del petróleo*, muchas de las tecnologías de aprovechamiento de energías renovables han madurado y evolucionado, aumentando su confiabilidad y mejorando su rentabilidad para muchas aplicaciones. Como

resultado, países como Estados Unidos, Alemania, España e Israel presentan un crecimiento muy acelerado en el número de instalaciones que aprovechan la energía solar de manera directa o indirectamente a través de sus manifestaciones secundarias.

Además de la riqueza en energéticos de origen fósil, México cuenta con un potencial muy importante en cuestión de recursos energéticos renovables, cuyo desarrollo permitirá al país contar con una mayor diversificación de fuentes de energía, ampliar la base industrial en un área que puede tener valor estratégico en el futuro, y atenuar los impactos ambientales ocasionados por la producción, distribución y uso final de las formas de energía convencionales. Para analizar y plantear estrategias nacionales sobre energías renovables, la Secretaría de Energía se ha apoyado en la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía, (CONAE), creada como comisión intersecretarial en 1989 y elevada a la categoría de órgano desconcentrado de la Secretaría de Energía en 1999. A su vez, reconociendo su invaluable participación en el tema, la CONAE estableció, desde hace más de tres años, una alianza con la Asociación Nacional de Energía solar, ANES, y juntas han operado el Consejo Consultivo para el Fomento de las Energías Renovables (Cofer y Marchaim,1992;79).

### **Importancia y Justificación**

El problema de las fuentes de energía se viene estudiando desde hace mucho tiempo y tiene cada vez más vigencia. Si bien las reservas de combustibles fósiles son grandes, la creciente población y el crecimiento de la industria demandan cada más cantidad de energía. En el futuro cercano seguramente seguiremos dependiendo de los combustibles fósiles o nucleares por un largo tiempo, pero es necesario ir desarrollando tecnologías alternativas, no sólo porque a la larga reemplazaran a los recursos no renovables, sino por su utilidad inmediata, por ejemplo en lugares alejados donde no es económico la generación de energía con fuentes convencionales. En lugares desérticos a alejados de centros poblados, la energía solar, eólica y otras fuentes alternativas tienen aplicabilidad inmediata, y allí es donde se prueban y perfeccionan las tecnologías que quizá en el futuro se conviertan en algo mas que fuentes alternativas.



La utilización de las energías renovables y el uso racional de la energía en general, constituyen estrategias básicas para cualquier país que busca el desarrollo sostenible. En el Perú, ello implica la necesidad de realizar actividades de conversión energética, evaluar y aplicar nuevas tecnologías y desarrollar programas de capacitación que permitan una mayor difusión de estos temas.

Las recientes discusiones sobre política y economía energética, sumada al impacto negativo del consumo de combustibles fósiles, han conducido a una creciente demanda en la utilización de energía renovable. En este contexto, la biomasa y la producción de biocombustibles sólidos, líquidos o gaseosos (como el biogás) se presentan como una opción especialmente prometedora, siendo su aprovechamiento energético el resultado de diversos procesos físicos, químicos y biológicos. Las instalaciones del biogás en la agricultura transforman los productos de desecho de la ganadería(excremento líquido)en formas energéticas de gran valor(corriente eléctrica y calor) y contribuyen a la protección del ambiente. El biogás obtenido puede posteriormente ser quemado en los equipos normales que trabajan con gas(hornillas, motores, turbinas) o en celdas de combustible para la producción de energía eléctrica.

La producción de biogás, además de incrementar las fuentes renovables, evita la dispersión de metano que no ha sido quemado (uno de los factores que generan el efecto de invernadero). Además, los residuos de producción bajo formas de desecho sólidos se pueden utilizar como abonos inodoros y no contaminantes, reduciendo así la contaminación de los terrenos y de las aguas subterráneas.

Estas instalaciones además de la protección del ambiente y el ahorro de los recursos sustituyen los combustibles fósiles o sustituyen los abonos químicos mediante la producción de un abono biológico vegetal de gran valor muy compatible con las plantas; o de igual manera disminuyen la emisión de metano, perjudicial para el clima, los malos olores, la reproducción de vectores nocivos como moscas y ratones, entre otros. ([www.conae.gob.mx/wb/CONAE\\_24\\_energias\\_renobables-76k-](http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE_24_energias_renobables-76k-)).

## **Objetivos Generales**

### **El objetivo general del presente trabajo es:**

- ❖ El presente trabajo se propone elaborar un documento que sea de utilidad y apoyo a estudiantes y profesionistas para informar sobre fuentes de energía alternativa y su generación, haciendo énfasis en el uso del biogás, para generar gas metano combustible y producción de fertilizante orgánico, por medio del procesamiento de estiércoles de animales de granja y desechos orgánicos.
- ❖ Desarrollar alternativas constructivas para los biodigestores, con tecnología socialmente apropiada a escala familiar rural y para las diversas explotaciones agropecuarias.
- ❖ Difundir el modelo “Proteger” como herramienta demostrativa.

## **CAPÍTULO II. LA PRODUCCIÓN Y CONSUMO ENERGÉTICO A NIVEL MUNDIAL**

### **La Producción y Consumo Energético a Nivel Mundial**

Menacho (1994;27), afirma que en todo el mundo, muchos de los recursos básicos de los que dependerán las futuras generaciones para su supervivencia y bienestar se están agotando, y se intensifica la degradación del medio ambiente, impulsada por modalidades insostenibles de consumo, un crecimiento de la población sin precedentes, la persistencia y difusión de la pobreza, y las desigualdades sociales y económicas.

Los mismos autores nos presentan una serie de problemas ecológicos que constituyen una especie de "síndrome" de una crisis global del ecosistema planetario. Los principales tópicos podrían ser:

## El Aumento de la Temperatura Planetaria por el Efecto Invernadero

El efecto invernadero es producido por unos gases determinados presentes en la atmósfera, capaces de almacenar la radiación de onda larga, es decir, calor. El incremento de la concentración de estos gases en la atmósfera implica un aumento de la temperatura en la superficie del planeta. No se trata de un efecto producido exclusivamente por la actividad humana, ni siquiera por la actividad de los seres vivos. Siempre ha habido gases de efecto invernadero en la atmósfera terrestre. De hecho, sin el efecto invernadero, la temperatura en la superficie de la tierra sería de unos  $-18^{\circ}\text{C}$  promedio, lo que haría imposibilitado la vida.

Los principales gases del efecto invernadero son vapor de agua, anhídrido carbónico ( $\text{CO}_2$ ), ozono, óxidos de nitrógeno, metano ( $\text{CH}_4$ ) y clorofluorcarbonatos (CFC's), el último es el único tipo de gas totalmente producido por el hombre.

Por otro lado Fuentes de Energías Alternativas (1993) citado por (Atómico,2005:30-32) nos señala algunos datos sobre producción y consumo energético en el mundo y nos dice que con el tiempo aumenta el consumo energético de fuentes de energía, como puede observarse en la siguiente tabla 1:

Tabla 1. Consumo energético mundial en millones de toneladas equivalentes de petróleo (TEP).

AÑO	1965	1970	1975	1980	1985	1989
LÍQUIDOS	1537	2255	2709	3002	2797	3081
SÓLIDOS	1367	1495	1553	1794	2094	2321
GASES	572	848	1017	1253	1471	1681
ELECTRICIDAD	236	316	458	616	855	985

(Fuente: Social Indicators 1991-1992 The World Bank).

## **Calentamiento Global**

El dióxido de carbono es el principal subproducto de la combustión de los combustibles fósiles. Es lo que los científicos llaman un gas invernadero. Los gases invernadero absorben el calor del sol reflejado en la superficie de la Tierra y lo retienen, manteniendo la Tierra caliente y habitable para los organismos vivos. No obstante, el rápido desarrollo industrial de los siglos XIX y XX ha provocado un incremento de las emisiones procedentes de la combustión de combustibles fósiles, elevando el porcentaje de dióxido de carbono en la atmósfera en un 28%. Este dramático incremento ha llevado a algunos científicos a predecir un escenario de calentamiento global que puede causar numerosos problemas medioambientales, como la destrucción de los modelos climáticos y la fusión del casquete polar. (Bermúdez, 1998; 93)

Aunque es extremadamente difícil atribuir los cambios globales de temperatura a la combustión de los combustibles fósiles, algunos países están trabajando de manera conjunta para reducir las emisiones de dióxido de carbono procedentes de estos combustibles. Una de las propuestas consiste en establecer un sistema para que las compañías que emitan dióxido de carbono por encima del nivel establecido tengan que pagar por ello. Ese pago podría producirse de diversas formas, incluyendo: (1) pagar una cantidad a una compañía cuyas emisiones de dióxido de carbono sean inferiores al nivel establecido; (2) comprar y preservar bosques, que absorben dióxido de carbono; (3) pagar para mejorar una planta de emisión de dióxido de carbono en un país menos desarrollado, para que sus emisiones descendan.

## **Datos Mundiales Sobre la Energía**

Los depósitos mundiales de combustibles fósiles son finitos. Algunos expertos utilizan datos sobre los depósitos para estimar cuántos años durarán las reservas mundiales de energía, teniendo en cuenta el consumo actual y el que se preve para el futuro. En 1997 las reservas mundiales de petróleo se estimaban entre 1,02 y 1,16 billones de barriles (entre 134.000 y 152.000 millones de toneladas). En 1996 el consumo mundial de petróleo había alcanzado 26.100 millones de barriles al año. Las reservas mundiales de gas natural en 1997 fueron estimadas entre 1.510 y 1.580 billones de metros cúbicos. En 1996 el consumo mundial de gas natural había alcanzado los 2,32 billones de metros cúbicos al año. En 1997 las reservas mundiales de carbón fueron estimadas en 1,04 billones de toneladas, y en 1996 el consumo mundial de carbón había alcanzado 4.690 millones de toneladas al año. Se estima que el consumo total de energía en el mundo subirá un 2,2% al año entre 1995 y 2015.

Se pueden desarrollar modelos teóricos para estimar cuántos años durarán las existencias mundiales de combustibles fósiles. Sin embargo, esos modelos están condicionados por los avances tecnológicos en la producción de energía, los descubrimientos inesperados de nuevos depósitos de combustibles fósiles y diversos factores políticos, sociales y económicos, que influyen en la producción y el consumo de energía.

Como los combustibles fósiles se están consumiendo con mucha mayor rapidez de la que se producen en la corteza terrestre, la humanidad acabará agotando esas fuentes no renovables. Sigue siendo incierto cuándo llegará ese día, pero hay evidencias de que en algunas regiones se están agotando ciertos tipos de combustibles fósiles. (Caprahispana,2001;40-43)

### **CAPÍTULO III. LAS ENERGÍAS RENOVABLES**

Borroto (1999;47), menciona que como ya se conoce el uso de las energías renovables no es un hecho novedoso, fueron ellas las primeras utilizadas por el hombre; sin embargo la aparición de los combustibles fósiles las relegó por muchos años al olvido. En la actualidad el panorama ha cambiado, por una parte los problemas medioambientales debido en un significativo porcentaje a los procesos de conversión energética y en su totalidad a la acción indiscriminada del hombre sobre la biosfera; y por otra parte la convulsa situación del mundo del petróleo (portador energético fundamental en la actualidad) que ha enfrentado tres crisis en menos de 50 años; han puesto de nuevo sobre el tapete las olvidadas energías renovables; y aunque es cierto que todavía enfrentan detractores cada día ganan más adeptos y aumenta su cuantía dentro de la satisfacción global de los requerimientos energéticos de la humanidad.

Según Energías Alternativas (1993) citado por (Capraispansa,2001;) en consideraciones sobre el biogás (2001), nos dice que muchas fuentes de energía son perjudiciales para el ambiente. La ONU reporta en su informe 1994 que el nivel actual de utilización, los combustibles fósiles representan una amenaza a la estabilidad del clima. Los combustibles fósiles producen emisiones de hidrocarburos, óxidos de azufre y nitrógeno, que son dañinos para los seres vivos. Además contribuyen al efecto invernadero por el aumento de concentración de dióxido de carbono en la atmósfera. Otras fuentes de energía evitan estos inconvenientes, por ejemplo la nuclear no emite grandes cantidades de gases, pero los residuos que produce, como el Plutonio 239 son peligrosos y se cuestiona la seguridad luego de desastres como el de Chernobyl.

La energía hidroeléctrica, si bien es bastante limpia, produce impactos graves a los ecosistemas al inundarse los reservorios o lagos artificiales.

Por ello y por razones económicas (previendo que se acaben los combustibles fósiles) se estudian con interés otras fuentes de energía tales como la solar y eólica, en principio las más limpias, y otras que aunque producen emisiones por lo menos son renovables, como el aprovechamiento de la biomasa para producir gas, etanol o aceite combustible.

Por otro lado (Ortega, 2003;110-115) citada en Buenas Manos (2004) define a las energías renovables como aquellas que se producen de forma continua y son inagotables a escala humana: solar, eólica, hidráulica, biomasa y geotérmica.

Son fuentes de abastecimiento energético respetuosas con el medio ambiente. Lo que no significa que no ocasionen efectos negativos sobre el entorno, pero éstos son infinitamente menores si los comparamos con los impactos ambientales de las energías convencionales (combustibles fósiles: petróleo, gas y carbón; energía nuclear, etc.) y además son casi siempre reversibles.

### **Ventajas de Energías Renovables**

Diversificación y menor vulnerabilidad sectorial, Menor impacto ambiental, Conservación de recursos naturales, Estabilidad a largo plazo en precios en comparación con las tradicionales, Alto potencial en energía eólica, biomasa y solar (se requieren incentivos), Se han abatido costos; altamente competitivos biomasa y energía eólica, y Beneficios social por promoción de desarrollos regionales como electrificación de zonas rurales.

### **Desventajas de las Energías Renovables**

Atadas a una localización geográfica, La disponibilidad no es continua, Requieren grandes extensiones de terreno, Los primeros años se usan para amortizar las inversiones dominando esto en estructura de costos (una vez amortizada la inversión es altamente rentable, como la eólica que tiene cero costo de generación) y Según la asociación de productores de energías renovables (appa por sus siglas en ingles), las energías renovables se pueden dividir en:

### **La Energía Mini-hidráulica**

El agua es elemento central de la naturaleza, de nuestra vida. El agua que, dentro del círculo hidrológico, fluye por los ríos al descender de un nivel superior a un nivel inferior, genera una energía cinética que el hombre lleva siglos aprovechando.

Hace más de cien años, esa energía, que hasta entonces se usaba fundamentalmente para moler el trigo, comenzó a emplearse en la generación de electricidad. De hecho, fue hasta mitad del siglo XX la principal fuente de que se sirvió el hombre para producirla a gran escala.(Ortega,2003;113).

Esta misma fuente establece que las centrales hidroeléctricas funcionan convirtiendo la energía cinética y potencial de una masa de agua al pasar por un salto en energía eléctrica. El agua mueve una turbina cuyo movimiento de rotación es transferido mediante un eje a un generador de electricidad. Un ejemplo de este tipo de planta se muestra en la Fig. 1. Se consideran centrales minihidráulicas aquellas con una potencia instalada de 10 MW o menos, una frontera que hasta hace poco se situaba en los 5 MW.



Figura. 1 Ilustración de una central minihidraulica antigua.

### **La Energía del Viento o Eólica**

La Asociación Danesa de la Industria Eólica (2003), dice que todas las fuentes de energía renovables (excepto la mareomotriz y la geotérmica), e incluso la energía de los combustibles fósiles, provienen, en último término, del sol. El sol irradia 174.423.000.000.000 kWh de energía por hora hacia la Tierra. En otras palabras, la Tierra recibe  $1,74 \times 10^{17}$  W de potencia.



Alrededor de un 1 a un 2 por ciento de la energía proveniente del sol es convertida en energía eólica. Esto supone una energía alrededor de 50 a 100 veces superior a la convertida en biomasa por todas las plantas de la tierra.

Las diferencias de temperatura conllevan la circulación de aire.

Las regiones alrededor del ecuador, a 0° de latitud, son calentadas por el sol más que las zonas del resto del globo. Estas áreas calientes están indicadas en colores cálidos, rojo, naranja y amarillo, en esta imagen de rayos infrarrojos de la superficie del mar (tomada de un satélite de la NASA, NOAA-7, en julio de 1984).

Esta misma fuente recalca que el aire caliente es más ligero que el aire frío, por lo que subirá hasta alcanzar una altura aproximada de 10 km y se extenderá hacia el norte y hacia el sur. Si el globo no rotase, el aire simplemente llegaría al Polo Norte y al Polo Sur, para posteriormente descender y volver al ecuador, esto se muestra con la Fig. 2.

Alrededor de un 1 a un 2 por ciento de la energía proveniente del sol es convertida en energía eólica. Esto supone una energía alrededor de 50 a 100 veces superior a la convertida en biomasa por todas las plantas de la tierra.

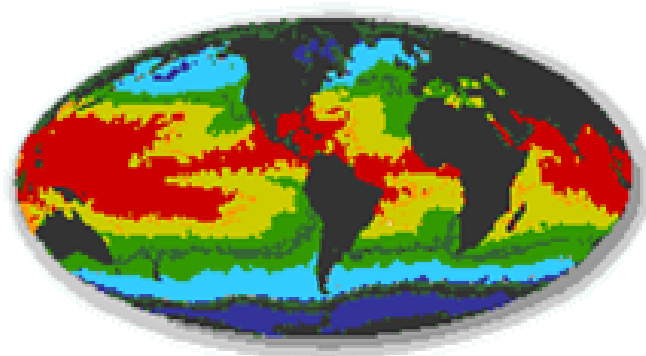


Figura. No. 2 Color de las © 1998 [www.WINDPOWER.org](http://www.WINDPOWER.org) diferentes temperaturas de corrientes de aire.

### **La Biomasa**

Según (Fernández y Carrión 1997;52-56) definen a la biomasa como una abreviatura de masa biológica, cantidad de materia viva producida en un área determinada de la superficie terrestre, o por organismos de un tipo específico. El término es utilizado con mayor frecuencia en las discusiones relativas a la energía de biomasa, es decir, al combustible energético que se obtiene directa o indirectamente de recursos biológicos. La energía de biomasa que procede de

la madera, residuos agrícolas y estiércol, continúa siendo la fuente principal de energía de las zonas en desarrollo. En algunos casos también es el recurso económico más importante, como en Brasil, donde la caña de azúcar se transforma en etanol, y en la provincia de Sichuán, en China, donde se obtiene gas a partir de estiércol. Existen varios proyectos de investigación que pretenden conseguir un desarrollo mayor de la energía de biomasa, sin embargo, la rivalidad económica que plantea con el petróleo es responsable de que dichos esfuerzos se hallen aún en una fase temprana de desarrollo.

(Sebastián,2002;85-88) la definen como una sustancia orgánica renovable de origen animal o vegetal, era la fuente energética más importante para la humanidad y en ella se basaba la actividad manufacturera hasta el inicio de la Revolución Industrial. Con el uso masivo de combustibles fósiles el aprovechamiento energético de la biomasa fue disminuyendo progresivamente y en la actualidad presenta en el mundo un reparto muy desigual como fuente de energía primaria. Mientras que en los países desarrollados, es la energía renovable más extendida y que más se está potenciando, en multitud de países en vías de desarrollo es la principal fuente de energía primaria lo que provoca, en muchos casos, problemas medioambientales como la deforestación, desertización y reducción de la biodiversidad, etc. La definición según estos autores se explica mediante la Fig. 3

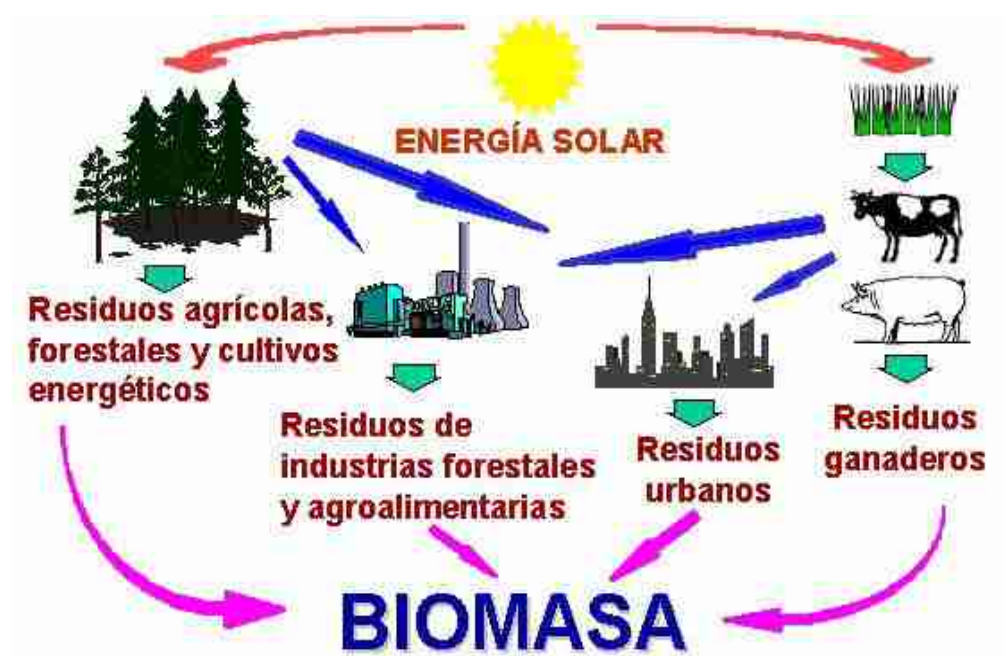


Figura. 3 Diagrama de la definición de biomasa

## **La Energía Fotovoltaica**

(Marcano,2005;69) la define como la energía eléctrica obtenida de la luz mediante células fotoeléctricas que responden a la energía luminosa liberando electrones.

Por otra parte natureduca.iespana.es(1992); se refiere a como los sistemas de energía fotovoltaica permiten la transformación de la luz solar en energía eléctrica, es decir, la conversión de una partícula luminosa con energía (fotón) en una energía electromotriz (voltaica)

## **La Energía Geotérmica**

Según (Ambientum,2000;17) citado por Panorama energético, dice que las plantas geotérmicas aprovechan el calor generado por la tierra. A varios kilómetros de profundidad en tierras volcánicas como se muestra en la Fig. 4 los geólogos han encontrado cámaras magmáticas, con roca a varios cientos de grados centígrados. Además en algunos lugares se dan otras condiciones especiales como son capas rocosas porosas y capas rocosas impermeables que atrapan agua y vapor de agua a altas temperaturas y presión y que impiden que éstos salgan a la superficie. Si se combinan estas condiciones se produce un yacimiento geotérmico.



Figura. 4 Erupción volcánica tipo de energía geotérmica.

## La Energía Olas y Mareas

Según hace referencia (ushuaia, tierra del fuego,2004;50-53) los mares y los océanos son inmensos colectores solares, de los cuales se puede extraer energía de orígenes diversos. La radiación solar incidente sobre los océanos, en determinadas condiciones atmosféricas, da lugar a los gradientes térmicos oceánicos (diferencia de temperaturas) a bajas latitudes y profundidades menores de 1000 metros.

La alteración de los vientos y las aguas son responsables del oleaje y de las corrientes marinas, y pueden originar grandes olas como la que se muestra en la Figura 5.



Figura. 5 Olas ocasionadas por la atracción de la luna sobre la tierra.

La influencia gravitacional de los cuerpos celestes sobre las masas oceánicas provoca mareas, por lo que la energía estimada que se disipa por las mareas es del orden de 22000 TWh. De esta energía se considera recuperable una cantidad que ronda los 200 TWh.

El obstáculo principal para la explotación de esta fuente es el económico. Los costos de inversión tienden a ser altos con respecto al rendimiento, debido a las bajas y variadas cargas hidráulicas disponibles. Estas bajas cargas exigen la utilización de grandes equipos para manejar las enormes cantidades de agua puestas en movimiento. Por ello, esta fuente de energía es sólo aprovechable en caso de mareas altas y en lugares en los que el cierre no suponga construcciones demasiado costosas.

## **CAPÍTULO IV. EL BIOGAS COMO FUENTE DE ENERGÍA**

### **¿Qué es el biogás?**

Según (Huilinao y Piccoli,2002;39-43), se le conoce mundialmente como biogás al producto de la fermentación anaerobia (sin aire) de residuos de origen orgánico. Su composición depende de la materia prima utilizada y otros parámetros o factores; se aplica a la mezcla de gases que se obtienen a partir de la descomposición en un ambiente anaerobio (sin oxígeno) de los residuos orgánicos, como el estiércol animal o los productos de desecho de los vegetales. En este proceso realizado por bacterias, se libera un mezcla de gases formada por metano (el principal componente del biogás), dióxido de carbono, hidrógeno, nitrógeno y ácido sulfhídrico. Es un combustible económico y renovable; se utiliza en vehículos de motor, para mezclar con el gas del alumbrado y para usos industriales y domésticos. La producción de biogás, además de aprovechar materia considerada como desperdicio, origina como subproducto un fertilizante de calidad excelente. El biogás tiene mucha importancia en los países en desarrollo y en los industrializados está aumentando la atención por este combustible para intentar reducir la dependencia actual del petróleo, además presenta una serie de ventajas como: reducen la peligrosidad y la contaminación de los residuos, eliminan el olor desagradable de los desechos, no producen desequilibrio en la naturaleza, como subproducto se obtiene un afluente con aptas propiedades de fermentación y amortizan entre cuatro y siete años.

El biogás se produce en un recipiente cerrado o tanque denominado biodigestor, el cual puede ser construido con diversos materiales como ladrillo y cemento, metal o plástico. El biodigestor es de forma cilíndrica o esférica posee un conducto de entrada a través del cual se suministra la materia orgánica ( por ejemplo, estiércol animal o humano, las aguas sucias de las ciudades, residuos de mataderos) en forma conjunta con agua, y un conducto de salida en el cual el material ya digerido por acción bacteriana abandona el biodigestor. Los materiales que ingresan, y abandonan el biodigestor se denominan afluente y efluente respectivamente.

El proceso de digestión que ocurre en el interior del biodigestor libera la energía química contenida en la materia orgánica, la que se convierte en biogás (gas metano). El metano es un

gas combustible, incoloro e inodoro cuya combustión produce una llama azul (Figura 6) y productos no contaminantes.



Figura 6.- Flama de biogás.

Este gas se puede utilizar para cocinar o como fuente de energía eléctrica, ya que es un tipo de energía renovable y no contaminante.

En nuestro país no es una forma de energía muy difundida, pero su uso es muy generalizado en China e India, donde por medio de tanques (biodigestores) construidos para producir metano, se han solucionado (por lo menos en parte), las necesidades de combustibles para fines domésticos en áreas rurales.

Otra definición de biodigestor (Manual del digestor 2005; 25-28), es un termino que se aplica a la mezcla de gases obtenidos a partir de la descomposición en un ambiente anaerobio (sin oxígeno) de los residuos orgánicos, como el estiércol animal o los productos de desecho de los vegetales. En este proceso realizado por bacterias, se libera un mezcla de gases formada por metano (el principal componente del biogás), dióxido de carbono, hidrógeno, nitrógeno y ácido sulfhídrico. Es un combustible económico y renovable; se utiliza en vehículos de motor, para mezclar con el gas del alumbrado y para usos industriales y domésticos. La producción de biogás, además de aprovechar materia considerada como desperdicio, origina como subproducto un fertilizante de calidad excelente. El biogás tiene mucha importancia en los

países en desarrollo, y en los industrializados está aumentando la atención por este combustible para intentar reducir la dependencia actual del petróleo.

Otra definición de biogás es la que refiere el Glosario de términos ambientales de (EcoPortal.net 1999;32-35) donde afirma que es un gas producido de la fermentación de la residuos domiciliarios, en general tiene un alto contenido de metano, es susceptible de ser usado con fines de generación de eléctrica o de uso domiciliario.

Siguiendo con definiciones de diferentes autores, según Wikipedia, (Enciclopedia libre,2005;25-58) hace mención que, el biogás, es un gas que se genera artificialmente, en dispositivos específicos, mediante la acción de unos seres vivos (bacterias metanogénicas), en ausencia de aire, (esto es un ambiente anaeróbico). Cuando materia orgánica se descompone en ausencia de aire, actúa este tipo de bacterias generando biogás.

### **Origen del Biogás**

La creación y utilización del biogás de manera artificial se remonta a la segunda guerra árabe-israelí, a mediados de los años setenta del siglo XX, cuando el precio del petróleo subió ostensiblemente al ser utilizado como arma política, lo que llevo a realizar la investigación de otras posibilidades de producir energía. Es entonces cuando se experimentó con reactores, los llamados de alta carga, capaces de retener los microorganismos anaerobios y de tratar las aguas residuales mediante este proceso. En este último caso, se tienen en cuenta las características de composición del agua y siempre que sea ventajoso frente a otras alternativas de tratamiento también se utiliza, aplicándose a los vertidos de la industria agroalimentaria, bebidas, papeleras, farmacéuticas y textiles, entre otras (Consumer.es Eroski, 2005; 98-102),.

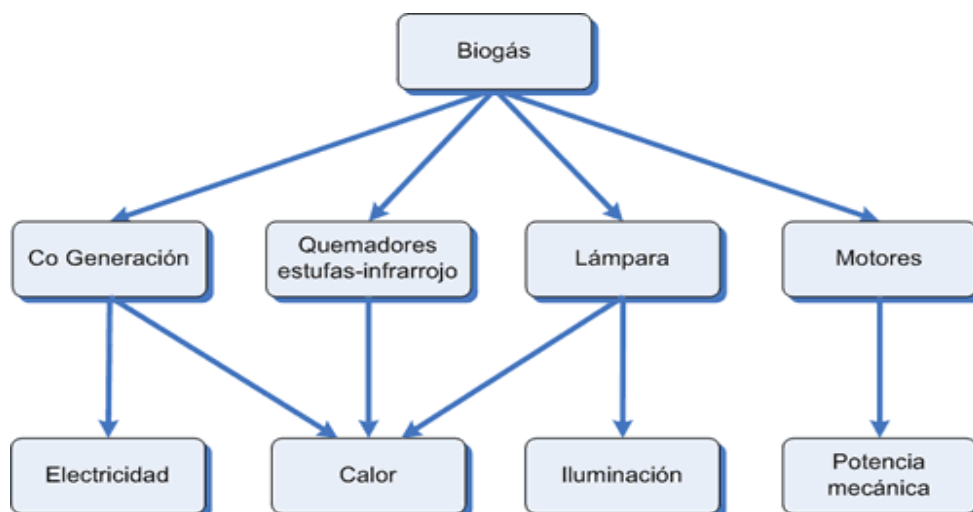
En un primer momento, el desarrollo del biogás fue más fuerte en la zona rural, donde se cuenta de manera directa y en cantidad con diversos tipos de desechos orgánicos, como el estiércol. De esta manera, el aprovechamiento de los residuos agrícolas se practica desde hace años en instalaciones individuales de tamaño medio que utilizan el biogás para cocinar o como fuente de iluminación. Según los expertos, esta manera de tratar los residuos es más efectiva, controlada y ecológica que las soluciones tradicionales de tratamiento, que en algunos casos pasan directamente por el vertido incontrolado. No obstante, el biogás también tiene sus

inconvenientes porque, además del metano y dióxido de carbono, pueden aparecer otros componentes minoritarios como el ácido sulfhídrico el cual es necesario eliminar. Por otra parte, si el residuo queda almacenado en condiciones de ausencia de aire, como ocurre en los estercoleros, se formaría metano que escaparía a la atmósfera, produciendo efecto invernadero y destrucción de la capa de ozono sin que se aproveche su energía.

En este sentido, un equipo de científicos de la Universidad de Cantabria presentaba recientemente un nuevo proceso de tratamiento y gestión de los residuos del ganado vacuno lechero que reduce la contaminación y aprovecha los nutrientes del estiércol, al tiempo que permite obtener energía renovable a través del biogás generado. Estos investigadores ya han iniciado contactos con el sector ganadero y con las consejerías de Medio Ambiente y de Ganadería, Agricultura y Pesca del Gobierno de Cantabria para estudiar cómo llevar este proyecto a la práctica. Estos expertos aseguran que si se sigue apostando por las energías renovables, la mejora de las tecnologías y el incremento de este tipo de plantas para obtener biogás y su posterior utilización es cuestión de tiempo.

### Usos del Biogás

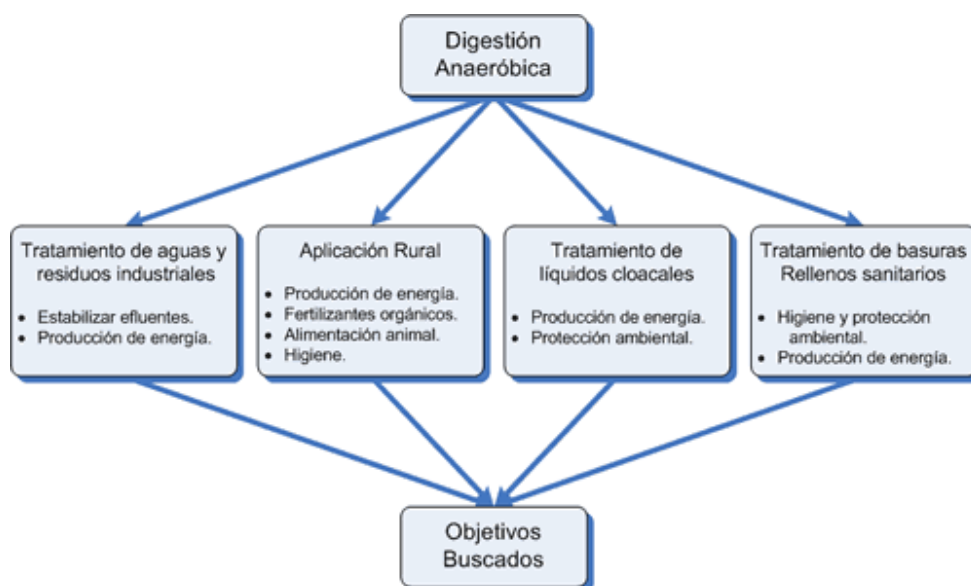
El gráfico que se encuentra a continuación resume las posibles aplicaciones.





En 1890 se construye el primer biodigestor a escala real en la India y ya en 1896 en Exeter, Inglaterra, las lámparas de alumbrado público eran alimentadas por el gas recolectado de los digestores que fermentaban los lodos cloacales de la ciudad. Los países generadores de tecnología más importantes en la actualidad son: China, India, Holanda, Francia, Gran Bretaña, Suiza, Italia, EE.UU., Filipinas y Alemania. A lo largo de los años transcurridos, la tecnología de la digestión anaeróbica se fue especializando abarcando actualmente muy diferentes campos de aplicación con objetivos muy diferentes.

Como puede apreciarse en el cuadro siguiente, según los campos de aplicación de la tecnología de la fermentación anaeróbica los objetivos buscados son diferentes o tienen un distinto orden de prioridades. Analizaremos brevemente la evolución y estado actual de cada uno de los campos descriptos.



Las plantas de tratamiento de desechos industriales, han tenido una importante evolución en los últimos años y al haber superado una primera etapa a nivel piloto, en Europa y China están actualmente siendo difundidas para determinados fines en combinación con tratamientos aeróbicos convencionales.

La aplicación del biogás en el área rural ha sido muy importante dentro de ella se pueden diferenciar dos campos claramente distintos. En el primero, el objetivo buscado es dar energía, sanidad y fertilizantes orgánicos a los agricultores de zonas marginales o al productor medio de los países con sectores rurales de muy bajos ingresos y difícil acceso a las fuentes convencionales de energía; en el segundo se pretende preservar en gran medida los bosques y selvas ya que actualmente se deterioran a un ritmo impresionante así como capacitar a la gente del sector rural para que puedan producir su propio gas y biofertilizante para satisfacer algunas de sus necesidades. En este caso la tecnología desarrollada ha buscado lograr digestores de mínimo costo y mantenimiento, fáciles de operar, pero con eficiencias pobres y bajos niveles de producción de energía ([www.textoscientificos.com/energia/biogas/usos-20k-](http://www.textoscientificos.com/energia/biogas/usos-20k-)).

### **Utilización del Biogás**

Puede ser utilizado en la finca o en el entorno urbano donde se implemente el sistema; con el uso del biogás se puede sustituir a la electricidad, al gas propano o al diesel como fuentes energéticas en la producción de electricidad, calor o refrigeración. En el sector rural el biogás puede ser utilizado como combustible en motores de generación eléctrica para autoconsumo de la finca o para vender a otras. Puede también usarse como combustible para hornos de aire forzado, calentadores y refrigeradores de adsorción (Consumer Eroski, 2005;40).

Muchas fincas o instalaciones agropecuarias tienen la posibilidad de suplir la totalidad de sus requerimientos energéticos si se recolectan todos sus residuos orgánicos y se utilizan en la producción de biogás. En efecto, a partir del biogás se puede obtener energía eléctrica para alimentar sistemas de aire acondicionado o calentamiento ambiental de uso temporal; se puede tener iluminación eléctrica o a gas durante la noche; se puede hacer funcionar un sistema de ordeño con una frecuencia de dos veces al día durante 4 horas o tener la energía suficiente para ventilar ocasionalmente porquerizas, de acuerdo con el estado del clima o según la temporada debido a que la producción de biogás es permanente durante todo el año, aunque no siempre constante debido a fenómenos climáticos como las estaciones, es más rentable tener instalaciones que consuman gas permanentemente que utilizarlo ocasionalmente o por

cortos períodos, por otra parte hay que tener en cuenta que la conversión de aparatos al funcionamiento con gas es actualmente muy sencilla. Las fincas de gran tamaño estarán en mayor capacidad de compensar la producción de energía del biogás con su utilización que las fincas pequeñas.

Requerimientos eléctricos: Los aparatos de uso constante durante todo el año son las bombas eléctricas, ventiladores, motores, compresores y la iluminación, por lo que la producción de electricidad a partir del biogás es una opción interesante para su utilización en fincas, instalaciones agropecuarias y muchos sectores urbanos. A continuación se presenta una tabla donde se observan las principales aplicaciones del Biogás.

### Aplicaciones del Biogás

Opción	Aplicación
Generación eléctrica	Apropiada para muchas instalaciones pero en particular puede ser utilizado como combustible para motores diesel y a gasolina.
Combustión Directa	Cocinas, iluminación.
Calderas/Hornos	Uso por temporadas o en situaciones especiales por ejemplo mezclas de diesel-fuel utilizado al 100% en calderas y hornos.
Refrigeración	Refrigeración en hatos (aproximadamente el 15 al 30% del uso de electricidad en hatos); enfriamiento temporal y en situaciones especiales

## **Beneficios de la Tecnología del Biogás**

Según (Bermúdez y Vásquez,1998;23-35), los sistemas de biogás pueden proveer beneficios a sus usuarios, a la sociedad y al medio ambiente en general a la Producción de energía (calor, luz, electricidad); así como a la transformación de desechos orgánicos en fertilizante de alta calidad.

La producción tanto de biogás como de biofertilizante son fuentes de energía alternativas de gran importancia ya que con esto podemos con el biogás realizar la cocción de los alimentos y el biofertilizante lo podremos ocupar para mejorar el suelo ya que contiene propiedades de alta calidad esto se puede realizar de una forma económica, además de contribuir al desarrollo nos ofrece los beneficios que a continuación se mencionan:

- ❖ Mejoramiento de las condiciones higiénicas a través de la reducción de patógenos, huevos de gusanos y moscas.
- ❖ Reducción en la cantidad de trabajo relacionado con la recolección de leña para cocinar (principalmente llevado a cabo por mujeres).
- ❖ Ventajas ambientales a través de la protección del suelo, del agua, del aire y la vegetación leñosa, reducción de la deforestación.
- ❖ Beneficios micro económicos a través de la sustitución de energía y fertilizantes reflejados en los ingresos y en la producción agrícola ganadera.

Por lo tanto, la tecnología del biogás puede contribuir sustancialmente a la conservación y el desarrollo. Sin embargo, el monto de dinero requerido para la instalación de las plantas puede ser en muchos casos prohibitivo para la población rural. Por ello, se deben concentrar los esfuerzos en desarrollar sistemas más baratos y en proveer a los interesados de créditos u otras formas de financiación. El financiamiento del gobierno podría verse como una inversión para reducir gastos futuros relacionados con la importación de derivados del petróleo y fertilizantes inorgánicos, con la degradación del medio ambiente, y con la salud y la higiene.

### **Ventajas de la Producción del Biogás**

Permite disminuir la tala de los bosques al no ser necesario el uso de la leña para cocinar, Humaniza el trabajo de los campesinos, que antes debían buscar la leña en lugares cada vez más lejos, Diversidad de usos (alumbrado, cocción de alimentos, producción de energía eléctrica, transporte automotor y otros), Produce biofertilizante rico en nitrógeno, fósforo y potasio, capaz de competir con los fertilizantes químicos, que son más caros y dañan el medio ambiente y Elimina los desechos orgánicos, por ejemplo, la excreta animal, contaminante del medio ambiente y fuente de enfermedades para el hombre y los animales.

### **Desventajas de la Producción del Biogás**

Necesita acumular los desechos orgánicos cerca del biodigestor y Riesgo de explosión, en caso de no cumplirse las normas de seguridad para gases combustibles.

### **Biogás a Nivel Mundial**

Asia es el continente que más instalaciones de biogás ha construido. En 1973 se creó la Oficina de Difusión del Biogás y posteriormente el Centro Regional de Investigación en Biogás para Asia y el Pacífico. En China, el 70% del combustible para uso doméstico en las zonas rurales proviene de la descomposición de la paja y los tallos de cultivos. En la India, más de medio millón de personas se han servido de plantas de biogás como combustible doméstico, y hoy en día existen plantas demostrativas multifamiliares donde el gas se hace llegar por tuberías a cada vivienda por un precio módico. En Japón, presentaban el año pasado un sistema que consigue fermentar también el hidrógeno, además del metano, separadamente, lo que amplía los residuos a utilizar para la obtención de biogás, como los desechos de las cocinas, por ejemplo.

En Estados Unidos, existen incluso algunas plantas de biogás de gran tamaño, mientras que en América Latina se hacen esfuerzos aislados en distintos países.

En Europa, existen más de 500 instalaciones productoras de este gas biológico, Holanda y Dinamarca son los países que marcan la pauta. En España, la implantación es menor respecto al resto de Europa. En el campo de las aguas residuales existe en industrias azucareras o cerveceras. Concretamente con el estiércol, tanto de vacuno como de porcino, ha

habido algunas plantas piloto, pero ahora mismo a escala industrial no hay ninguna. En estos temas se investiga fundamentalmente desde las universidades. Su aplicación a escala industrial dependerá de las exigencias medioambientales y de los precios del costo de la energía.(Eroski,2005;110-112).

El biogás se utiliza como una tecnología ecológicamente amistosa en muchos países, en la Figura 7 se muestran diferentes logotipos sobre biogás en el mundo.

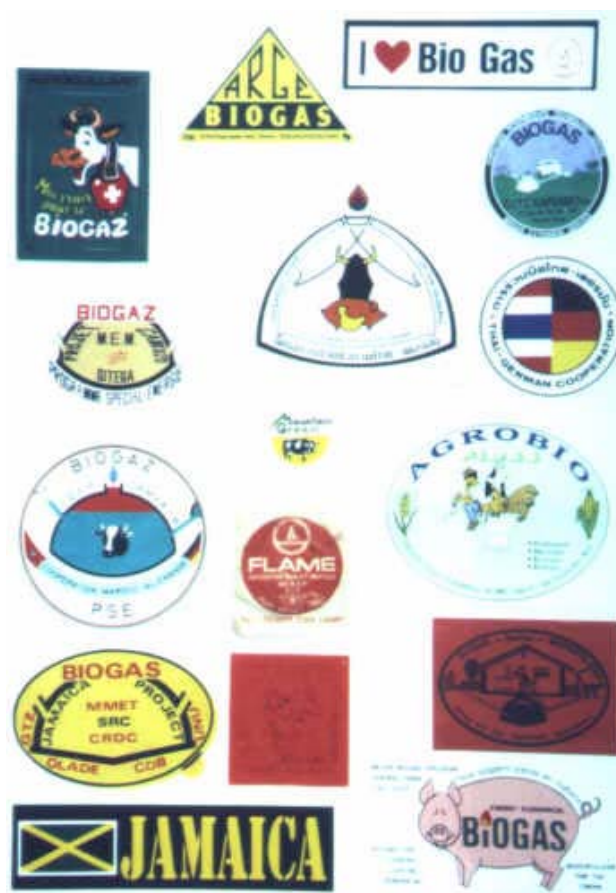


Figura 7.- Diferentes logotipos sobre biogás.

Asia es el continente que más instalaciones de biogás ha reportado. Desde 1973 se estableció la Oficina de Difusión del Biogás y posteriormente el Centro Regional de Investigación en Biogás para Asia y el Pacífico Sur adjunto al Ministerio de la Agricultura. En la república Popular China la situación actual en las zonas rurales se caracteriza por una grave escasez de energía donde alrededor de 130 millones de familias carecen de combustible para uso doméstico durante tres meses del año. El 70 % de combustible para uso doméstico proviene de paja y tallos de cultivos. El estado sólo puede solucionar el 13 % de las necesidades energéticas individuales para el sector rural.(Caneta,1985;96-99).

En la india, alrededor de 500 000 familiares utilizaron plantas de biogás, para producir energía como sustituto del combustible doméstico. Hoy existen plantas demostrativas multifamiliares donde el gas se hace llegar por tuberías a cada vivienda sobre la base de un precio módico por consumidor. En la localidad de MASUDPUR el estado ha construido una planta de biogás multifamiliar a partir de excrementos humanos y vacunos. El digester de alrededor de 194 m<sup>3</sup> de capacidad tiene una campana de acero de 85 m<sup>3</sup> y el biogás se envía a 12 viviendas separadas de la instalación productora en 1 Km. de distancia. Hoy 31 comunidades cuentan con plantas de biogás multifamiliares que trabajan eficientemente porque son atendidas con esmero.

En Europa existen alrededor de 564 instalaciones productoras de gas biológico que representan unos 269 000 m<sup>3</sup> de digestores. De estas 174 000 m<sup>3</sup> digestores corresponden a instalaciones industriales. El resto, 95 000 m<sup>3</sup> de digestores corresponden a instalaciones agrícolas. Al inicio el desarrollo del biogás fue más fuerte en la zona rural. Hoy el tratamiento de desechos municipales mediante instalaciones productoras de energía y abonos llevan el peso fundamental en el desarrollo de esta tecnología donde se trabaja fuertemente por lograr cada día una eficiencia más óptima de procesos con tiempo de retención extremadamente bajos (3 a 10 h). En Estados Unidos de América existen algunas plantas de biogás de gran tamaño y que funcionan bien.(Morales,1988;85).

Otra instalación significativa resulta la de una planta de biogás construida para el procesamiento de excreta de vacas lecheras en la ciudad de MONROE, y WASHINGTON. Esta instalación posee un digestor de 190 m<sup>3</sup> de capacidad comenzó a trabajar en 1977 concebida para 200 vacas estabuladas. En América Latina se hacen esfuerzos aislados en distintos países, con el propósito de extender la tecnología del biogás a las condiciones de vida e idiosincrasia de nuestros pueblos.

### **Biogás en México**

Según la comisión reguladora de energía (2003) citada por (Transforma, 2003;132) el Biogás (también conocido como Biomasa) es una opción que ha tenido una buena aceptación como fuente alterna de energía, ya que presenta importantes ventajas económicas y ambientales. El costo nivelado de esta tecnología es de entre 5 y 8 centavos de USD/kWh, lo cual podría considerarse relativamente alto con respecto a otras fuentes de generación (incluso las alternas). Sin embargo, debe considerarse que este costo ya incluye el desarrollo y equipamiento del relleno sanitario. Pese a lo elevado de su costo, debe tomarse en cuenta que independientemente de la decisión de construir una central de biogás, la basura debe confinarse en un relleno sanitario debido a que en la actualidad los tiraderos a cielo abierto no son permitidos. En otras palabras, se puede obtener un beneficio a partir de una actividad obligatoria, como la disposición de la basura en un relleno sanitario para cumplir con las normas ecológicas.

Saldaña (2003;) citado en the International Conference on Technology Policy and Innovation (2003), habla sobre el Sistema Metropolitano de Procesamiento de Desechos Sólidos (SEMIOPRODESO) que en conjunto con una empresa de la Iniciativa Privada ha desarrollado un proyecto que generará energía para alumbrar a varios municipios del Estado de Nuevo León mediante la correcta utilización del biogás.

Por otra parte las energías renovables en México y el mundo (2005), el biogás también se produce en rellenos sanitarios, que contienen gran proporción de desechos orgánicos húmedos, y en donde existen las condiciones adecuadas para que proliferen las bacterias



anaerobias que al digerir esos desechos producen el metano y el bióxido de carbono en el interior del relleno, por ejemplo, un relleno sanitario de la Ciudad de México con 5.6 millones de toneladas de residuos sólidos produce suficiente biogás para alimentar una planta de 5 MW de capacidad para operar durante 10 años.

### **Composición y propiedades del biogás.**

(Huilinao y Piccoli 2002; 20) afirman que este gas está formado por:

Metano ( $\text{CH}_4$ ): 40-70% vol. = Da características combustibles

Dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ): 30-60% vol.

Otros gases: Hidrógeno ( $\text{H}_2$ ): 0-1% vol.

Sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ): 0-3% vol.

Estos mismos autores refieren las siguientes propiedades:

Depende de la presión, de la temperatura y la humedad. Los factores que caracterizan el biogás son:

Cambio de volumen al variar la presión y la temperatura.

Cambio del valor calorífico, al variar la temperatura, presión y/o contenido de agua.

Cambio del contenido de vapor de agua cuando cambia la temperatura y presión.

El valor calorífico del biogás es cerca de 6 Kwh por  $\text{m}^3$  Es decir que un metro cúbico de biogás es equivalente a aproximadamente medio litro de combustible diesel.

En la tabla 4, se ilustra el valor combustible del biogás en comparación con otros combustibles.

(Werner, 1989;) dice que el metano, principal componente del biogás, es el gas que le confiere las características combustibles al mismo. El valor energético del biogas por lo tanto estará determinado por la concentración de metano - alrededor de  $20 - 25 \text{ MJ/m}^3$ , comparado con  $33 - 38 \text{ MJ/m}^3$  para el gas natural.

tabla. 4.- Valores promedio del poder calorífico de diferentes combustibles y su equivalente referido al biogás.

COMBUSTIBLE	Kcal/m <sup>3</sup>	Kcal/kg	Cantidad equivalente a 1000m <sup>3</sup> de biogás
Biogás	5335	-	1000 m <sup>3</sup>
Gas natural	9185	-	851 m <sup>3</sup>
Metano	8847	-	603 m <sup>3</sup>
Propano	22052	-	242 m <sup>3</sup>
Butano	28588	-	187 m <sup>3</sup>
Electricidad	860 kcal/kw/h	-	6203 kw/h
Carbón		6870	776 kg
Petróleo		11357	470 kg. 553 lts
Combustóleo		10138	526 kg. 528 lts

Fuente: [www.geocities.com/institutoingefor2/cursos/curso1/biogas1.html](http://www.geocities.com/institutoingefor2/cursos/curso1/biogas1.html). (2005)

## CAPÍTULO V. FERMENTACIÓN ANAERÓBICA.

(La German Appropriate Technology Exchange,1999;231-233) menciona que este tipo de fermentación es un proceso natural, conocido por el hombre desde tiempo atrás, pero poco utilizado, especialmente en nuestro medio. Es una fermentación que ocurre en ausencia de oxígeno (sin aire) y produce, como resultado final, un gas combustible conocido como Biogás o gas metano (CH<sub>4</sub>) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), además de un efluente líquido alcalino que es un excelente abono orgánico.

En el desarrollo de este proceso ocurren simultáneamente tres etapas dentro del sistema y se presenta, a continuación:

### **Primera etapa**

Ocurre una hidrólisis generalizada de la materia orgánica compleja adicionada al digestor, realizada por encimas producidas por diversas bacterias: proteolíticas, lipóticas y carbolíticas, que destruyen inicialmente las proteínas, grasas y carbohidratos presentes.

### **Segunda etapa**

El producto de la primera etapa, es tomado por un segundo tipo de bacterias, conocidas generalmente como acidogénicas, que transforman la materia orgánica hidrolizada, en ácidos orgánicos de bajo peso molecular, principalmente ácido acético ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) y ácido propiónico ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}$ ).

### **Tercera etapa**

Los ácidos de bajo peso molecular obtenidos, son a su vez tomados por un tercer grupo de bacterias, llamadas propiamente metanogénicas, que los transforman en gas metano y dióxido de carbono.

Siguiendo con el mismo autor nos dice que el comportamiento microbiológico es más complejo que estas tres etapas; dentro de un biodigestor en operación ocurren multitud de reacciones y fermentaciones simultáneas de docenas de bacterias diferentes, que trabajan de forma simbiótica y elaboran gran variedad de productos, que a su vez son tomados por otras bacterias que retransforman para otros grupos. Por lo anterior, con el Biogás se encuentran trazas de hidrógeno ( $\text{H}_2$ ), Nitrógeno ( $\text{N}_2$ ), ácido sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) y otros. Cualquier cambio brusco que ocurra dentro del digestor en funcionamiento destruirá el delicado equilibrio establecido en el sistema y el proceso se detendría o desviaría la reacción para otro lado. En la siguiente tabla se muestra la relación carbono-nitrógeno y porcentaje de fermentación dependiendo el tipo de animal.

tabla No. 5 Características del material de fermentación.

Características del material de fermentación						
Clase de animal Material de fermentación	Cantidad diaria			% del material de ferm. fresco		C/N
	Aprox. Kg	Estiércol % peso en vivo	Orina % peso en vivo	% MS	% MOS	
Vacunos	8	5	4	16	13	25
Búfalos	12	5	4	14	12	20
Cerdos	2	2	3	17	14	13
Ovejas	1			30	20	30
Caballos	10			25	15	25
Gallinas	0.08			25	16	5
Humanos	0.5			20	15	8
Paja / Tamo					~ 80	70
Hojas / Pasto					~ 80	35
Jacinto de Agua	25 kg/m <sup>2</sup>			7	5	25

Fuente: <http://ing.unne.edu.ar/pub/biomasa.pdf>.(2005)

Casi un 75% del gas metano producido durante el proceso, proviene del ácido acético formado en los pasos intermedios. El hidrógeno producido por algunas bacterias se recombina en forma casi instantánea con dióxido de Carbono para formar metano y agua en un proceso llamado de biometanización.

(Álvarez y Moyano, 2005;) dicen que la digestión anaerobia es una fermentación microbiana en ausencia de oxígeno que da lugar a una mezcla de gases (principalmente metano y dióxido de carbono), conocida como "biogás" y a una suspensión acuosa o "lodo" que contiene los componentes difíciles de degradar y los minerales inicialmente presentes en la biomasa.

La materia prima preferentemente utilizada para someterla a este tratamiento es la biomasa residual con alto contenido en humedad, especialmente los residuos ganaderos y los lodos de depuradora de aguas residuales urbanas.

Aunque la digestión anaerobia es un proceso ampliamente conocido en la práctica, se posee en la actualidad una información muy limitada sobre su química y su microbiología. Sin embargo, se puede afirmar en líneas generales que la digestión anaerobia se desarrolla en tres etapas durante las cuáles la biomasa se descompone en moléculas más pequeñas, para dar biogás como producto final, por la acción de diferentes tipos de bacterias.

Las variables que influyen en el proceso son las siguientes:

- Temperatura: se encuentra un óptimo de funcionamiento alrededor de los 35 ° C
- Acidez: determina la cantidad y el porcentaje de metano en el biogás, habiéndose encontrado que el valor óptimo de pH oscila entre 6,6 y 7,6
- Contenido en sólidos: se suele operar en mejores condiciones con menos de un 10% en sólidos, lo que explica que la biomasa más adecuada sea la de alto contenido en humedad
- Nutrientes: para el crecimiento y la actividad de las bacterias, éstas tienen que disponer de carbono, nitrógeno, fósforo, azufre y algunas sales minerales
- Tóxicos: aparte del oxígeno, inhiben la digestión concentraciones elevadas de amoníaco, sales minerales y algunas sustancias orgánicas como detergentes y pesticidas.

(Sica News, 2005; 56) establece que la digestión anaerobia se puede realizar en rangos mesofílicos o termofílicos según sea la temperatura en la que se realiza el proceso. La digestión anaerobia en rango mesofílico se realiza para temperaturas inferiores a 40°C, mientras que a temperaturas del orden de 55°C, la digestión es termofílica. En este último caso, el tiempo de retención es menor y la producción de biogás es bastante mayor.

El poder calorífico del biogás es del orden de 4.500 kcal/m<sup>3</sup> (con 60% de metano y 40% de CO<sub>2</sub>). Al emplear este biogás como combustible, se puede producir electricidad para el consumo de la propia planta generadora o de recuperación eléctrica en una depuradora.

### Temperatura.

Un factor importante a tener en cuenta para una adecuada fermentación es la temperatura de la masa durante el proceso. Existen tres rangos de operación bien definidos:

### Tiempo.

Comparando el tiempo que tarda en degradarse totalmente, por ejemplo el estiércol del ganado, en el rango criofílico sería aproximadamente 120 días, mientras que en el mesofílico, puede durar entre 40 y 55 días. En el rango termofílico la operación tardaría unos 4 a 5 días. De lo anterior se deduce que con un control adecuado de temperatura de la masa en fermentación, se puede lograr una aceleración considerable en la velocidad del proceso.

### Agitación.

El grado y la calidad de la agitación interna que se logre, es otro factor que ayuda a mejorar y acelerar la eficiencia de la fermentación anaeróbica, pues da oportunidad a las bacterias de estar en contacto con material no digerido.

### Presión.

Un factor limitante del proceso anaeróbico es el de la presión total de operación. Cuando la presión hidrostática a que están sometidas las bacterias es superior a 4 PSI, su velocidad de trabajo se reduce en un 50%. Con el aumento de presión disminuye el rendimiento pero no llega a detenerse el proceso.

En digestores sencillos, cuyo ancho es menor que la profundidad y sin más efecto de agitación que el burbujeo del gas producido, cuando sube a la superficie, no se debe sobrepasar una profundidad efectiva de líquido de 3.6 metros. Si se ha de sobrepasar esta profundidad, es necesario proporcionar agitación mecánica para que las bacterias puedan operar a diferentes profundidades.

## **CAPÍTULO VI. PROCESO DE FERMENTACIÓN.**

### **Lagunas de Oxidación**

Estas lagunas o lagos de estabilización para aguas negras y desperdicios contaminantes en general, han sido práctica común en muchas partes del mundo y usadas durante varios siglos. En estos lugares ocurren dos tipos de fermentación al tiempo. En la superficie y hasta cierta profundidad el proceso es aeróbico, debido a la interacción del oxígeno del aire con el agua y la acción del viento en la superficie de la laguna. Se produce el desprendimiento de gases en forma de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y amoníaco ( $\text{NH}_3$ ).

En las partes más profundas, aproximadamente 1.5 metros, el proceso es Anaeróbico, con desprendimiento de gas metano ( $\text{CH}_4$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y ácido sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) en pequeñas cantidades. Este sistema tiene dos inconvenientes, el mal olor producido por los gases que salen a la atmósfera y la gran extensión que ocupan.

En lagunas pequeñas es posible cubrir la superficie con aceite o algún tipo de grasa para lograr una única y mayor actividad de fermentación anaerobia y disminuir la Demanda Química de Oxígeno (QOD) y la Demanda Biológica de Oxígeno (BOD) de las aguas negras que entran en ellas, su profundidad se puede incrementar hasta 4 - 5 metros; funcionan como enormes colectores solares pasivos, absorbiendo energía y aumentando la temperatura interna, lo cual lógicamente, acrecienta su velocidad de reacción y por consiguiente su efectividad. (Fernández,1988;67).

### **Rellenos Sanitarios**

En la mayoría de ciudades del mundo la disposición de desechos sólidos se ha realizado mediante rellenos sanitarios, unos contruidos técnicamente y otros, los más, simplemente acumulando las basuras indiscriminadamente sobre un lote de terreno.

Actualmente, estos rellenos brindan la posibilidad de producir Gas Metano de la Biomasa con alto contenido de sólidos, tal como se presenta en los desperdicios de las industrias alimenticias y los sobrantes de cosechas.

Tal como ocurre con las lagunas de oxidación, en la parte superior de los rellenos se produce una fermentación aerobia y en las inferiores una anaeróbica, lo que causa malos olores que se perciben en los alrededores de los rellenos. Este sistema, genera la contaminación de las aguas subterráneas por el deslave de compuestos solubles que arrastran las aguas de lluvia, afectando la acidez del terreno con la consiguiente destrucción de la vegetación y descarga de microorganismos que en muchos casos son de tipo patógeno. Estas condiciones también afectan la alcalinidad, acidez y dureza de las aguas superficiales y subterráneas expuestas a su contacto.(Hernández,2003;43).

Un ejemplo de aprovechamiento masivo de Gas Metano se tiene en el Barrio Class de Bogotá, el cual fue construido sobre un relleno sanitario; sus habitantes descubrieron que al enterrar en el suelo un tubo perforado de unas 2" de diámetro, por la punta salía un flujo de gas combustible que llevado adecuadamente hasta estufas y fogones servía para la cocción de alimentos.

### **Pozos Sépticos**

Es el más antiguo y sencillo digestor anaeróbico que se conoce, utilizado normalmente para la disposición de aguas negras domésticas. Se cree que de allí deriva el uso potencial de los gases producidos por la fermentación anaeróbica, para el uso doméstico. En la ciudad de Exeter, Inglaterra, se utilizó en el año de 1895, el gas de un pozo "debidamente diseñado", para el alumbrado público de las calles. Posteriormente, durante la década de 1920 varios equipos de estos se construyeron y utilizaron en diferentes lugares de Inglaterra.

En otra ciudad, Birmingham en 1911, el principio de operación de los pozos sépticos proporcionó la base tecnológica para diseñar una de las primeras plantas de digestión anaeróbica, capaz de manejar las aguas negras de una gran ciudad y producir electricidad. De allí partió la tecnología básica de fermentación anaeróbica que opera actualmente en ciudades como Miami, Chicago, Los Ángeles y Washington en los Estados Unidos.

Para la correcta operación de estos pozos es requisito indispensable aislar las aguas negras que caen en él, de las que contienen jabón o detergentes. Este es uno de los errores más comunes en la construcción de pozos en nuestro País; las viviendas conectan todos los desagües de duchas, lavamanos, lavaderos y lavaplatos con la cañería de aguas negras que



conduce al pozo séptico. El efecto de los jabones y en especial los detergentes, inhibe la acción metabólica de las bacterias, razón por la que los pozos se colmatan con rapidez y dejan de operar, haciendo necesario destaparlos frecuentemente para recomenzar la operación.

Cuando no es posible separar las aguas negras de las jabonosas, como en el alcantarillado urbano, es necesario hacer un tratamiento químico con Poliendrios a las aguas negras a fin de solucionar el problema antes de iniciar la fermentación anaeróbica.(García,1998;13-15).

## **CAPÍTULO VII. TIPOS DE BIODIGESTORES.**

(Álvarez y Moyano, 2005; 214-216) citan que las plantas para la producción de biogás se pueden clasificar en:

- Discontinuas o de Batch, estas son cargadas una vez y vaciadas por completo después de un tiempo de retención; el abastecimiento continuo de gas con estas plantas se logra con depósitos de gas o con varios digestores funcionando a la vez.
- Continuas, estas se cargan y descargan en forma periódica, por lo general diariamente, el material de fermentación debe ser fluido y uniforme. Las plantas continuas son apropiadas para viviendas rurales donde el mantenimiento necesario se integra a la fajina diaria y la producción de gas es mayor y uniforme. Estas últimas también tienen la ventaja de adaptarse al uso industrial, por ejemplo en criaderos donde se deben tratar grandes cantidades de estiércol y en donde no importa tanto la producción de gas como el tratamiento de la patogenicidad de estos desechos. También son propicias, en este caso, para la automatización.

### **Digestores Convencionales**

Son los de tipo familiar que usualmente se conocen en el comercio como Plantas de Biogás; existen dos corrientes principales de diseño.

#### **a. Sistema Hindú o kvick**

Este sistema fue desarrollado en la India en la década de los 50, después de la Segunda Guerra Mundial, basado en las experiencias de franceses y alemanes durante la guerra, pues en

este periodo, campesinos de esos países recurrieron a los digestores para obtener combustible para los tractores y calefacción doméstica en el invierno. Pasada la guerra, cuando los combustibles fósiles fueron fáciles de conseguir y bajaron de precio, se regresó a la comodidad de los hidrocarburos.



Figura 8. Digestor tipo hindú.

Dado que la India es pobre en combustibles convencionales, el Gobierno organizó la KVICK (Kaddi Village Industry Commission), en la estación experimental de Ajithmal en Ethawa, de donde salió el típico digestor conocido como Hindú y cuya principal característica es la de operar a presión constante. También de allí surgió el nombre de Bio Gas para designar a este combustible obtenido a partir del estiércol animal.

Este tipo de digestor está compuesto por un tanque o pozo generalmente de mampostería, enterrado en el suelo utilizando la tierra como aislante para evitar pérdidas de calor y como soporte de las paredes que ayude a contrarrestar la presión hidrostática interna de la biomasa en fermentación.

Recibe carga orgánica mezclada con agua en una proporción de 1:1 y máximo de 1:5, por un tubo que conecta con la parte inferior del tanque. Esta carga fresca desplaza por simple rebose de la parte superior a la que allí se encuentra y que se recolecta en un tanque externo para tal fin. Este efluente hidrolizado se utilizará posteriormente como abono orgánico digerido o como suplemento alimenticio, rico en proteínas, para la cría de peces o de animales domésticos en general.

En la parte superior está cerrado por una campana metálica o de otro material como madera, plástico o fibra de vidrio, que acumula los gases producidos por la fermentación y que se encuentra flotando sobre la biomasa en descomposición, con lo que se logra la estanqueidad y la hermeticidad necesarias. El peso de la campana hace las veces de compresor, pues comprime el gas dentro de ella y la mantiene flotando hasta que fluya, por la tubería de conducción, al lugar de consumo.

Una de estas plantas tipo Hindú, trabaja normalmente con una presión constante de operación en el gas, del orden de 10 a 12 centímetros de columna de agua (CA), equivalente a 1/4 o 1/5 de libra por pulgada cuadrada.



Figura No. 9. Ejemplo de digester hindú.

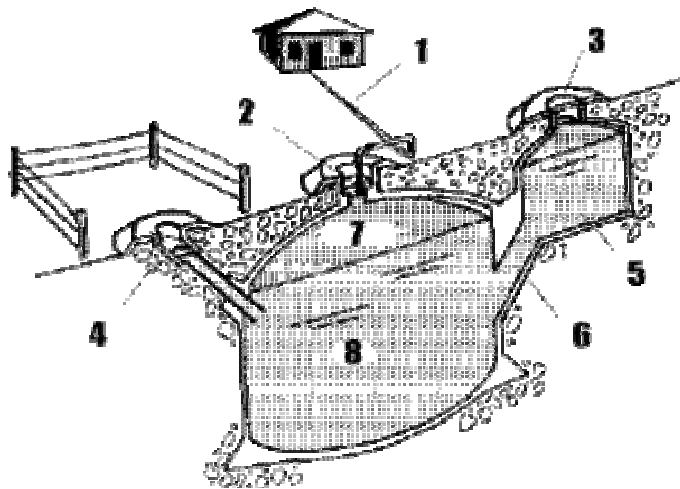
Este digester es el prototipo de la sencillez en su concepción y su operación, pues fue ideado para ser manejado por campesinos de muy escasa preparación.

#### b. Sistema Chino o szchawn

Dado el éxito del sistema Hindú y su amplia difusión en los años 50 y 60, el gobierno Chino hizo un esfuerzo grande de divulgación y adaptación de ésta tecnología a sus propias necesidades. El gran problema de La China en ese momento no era energético, sino sanitario y alimenticio; para resolver estos dos graves problemas se desarrollo específicamente el Digestor Tipo Chino.

Tradicionalmente la China ha utilizado las excretas humanas como fuente insustituible de abono orgánico para toda clase de cultivos. Aunque esta práctica se ha utilizado durante milenios, los problemas de contaminación ambiental y sanitaria del sector rural, no se habían resuelto. Con la utilización del Biodigestor se eliminan los malos olores, se recupera el abono orgánico de uso inmediato para los cultivos y además, se genera Gas combustible para las cocinas y el alumbrado en las viviendas campesinas.

Por motivos diferentes de los hindúes, los chinos desarrollaron, por economía de construcción, el digestor unifamiliar que opera básicamente con presión variable. Es un tanque construido totalmente en mampostería, sin campana movable y totalmente enterrado. Igual que el modelo hindú, recibe la carga fresca por un conducto que la lleva a la parte baja y entrega el efluente, por rebose, a un depósito externo en la parte superior. La diferencia principal entre los dos está en la utilización de la campana; en el sistema Chino el Gas queda atrapado con aumentos considerables de presión, pero a medida que se va gastando, ésta disminuye.



1. tubería de salida del gas; 2. Sello removible; 3. Tapa móvil; 4. Entrada; 5. Tanque de desplazamiento; 6. Tubería de salida; 7. Almacenamiento de gas y 8. Materia orgánica.

Figura 10.- Esquema de un digestor tipo chino.

Un digestor de este tipo puede llegar a trabajar con un metro de columna de agua de presión o más, equivalente a 2 libras por pulgada cuadrada en algunos casos. Esto aumentos de presión plantean diversos problemas de carácter estructural, en especial si la construcción es de cierto tamaño. El mayor problema de este diseño es la permeabilidad del gas Metano a través de las paredes de mampostería del digestor, debido a su mayor presión de operación. Es por esta variación permanente de presión, a veces aumentando y otras disminuyendo, que el digestor tipo Chino tiene grandes limitaciones prácticas para el uso racional del gas combustible producido; por ejemplo, es imposible hacer funcionar una nevera, un motor de explosión interna o una lámpara para el alumbrado.

Sin embargo hay que recordar que su objetivo no fue el Gas, sino el abono orgánico procesado y recuperado, gracias al cual China logró superar la crisis alimenticia y viene aumentando desde hace unos 10 años su producción agrícola, a un ritmo sostenido del 10 % anual.

#### c.- Digestores tipo bolsa

Este modelo fue desarrollado en la isla de Taiwán, pero el gobierno de la antigua Alemania Federal, a través de una dependencia de ayuda externa, la GTZ, fue quien lo promovió, dentro de campañas de cooperación técnica en los países Africanos.

Se trata de aplicar las mejores características técnicas de los modelos Hindú y Chino. Consiste de una bolsa de plástico o caucho, en forma de salchicha, que se acomoda sobre el piso a lo largo de una zanja en el terreno para que esté parcialmente sujeto por la tierra en los bordes. La carga fresca entra por un extremo y la descarga se hace por el opuesto.

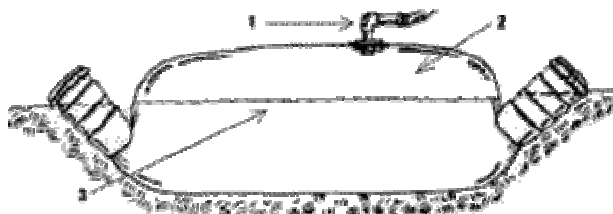


Figura 11.- Esquema del digestor de polietileno tipo saco

Este tipo de instalación es muy económica, el costo de un biodigestor es de \$50 USD por cada cuatro personas. Entre sus desventajas se halla su bajo tiempo de vida útil, lo que hace necesario montar una nueva instalación cada tres años. También es muy vulnerable a sufrir roturas por condiciones climáticas adversas, por las acciones del hombre y los animales.

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.

Este tipo de digestor es muy económico y fácil de transportar por su bajo peso, en especial en aquellos sitios de difícil acceso. Al ser hermético se reducen las pérdidas, pero por su fragilidad requiere disciplina social de las personas que lo manejan o que están a su alrededor, para evitar que lo dañen con algún objeto corto punzante; también es un inconveniente su corta vida, pues al estar a la intemperie, los rigores del clima lo deterioran en pocos años.

La operación de este digestor es muy eficiente al ser del tipo Tapón (Plug Reactor) y puede ser construido en mampostería con la consiguiente aumento de precio. Según estos principios se desarrolló el modelo Xochilco - México, pero presenta los mismos problemas de hermetización del modelo chino al aumentar la presión en las horas de no utilización del gas.

#### d.- Digestores de Alta Velocidad o Flujo Inducido

Estos son los utilizados comúnmente en instalaciones industriales o semi industriales. Generalmente trabajan a presión constante, por lo que se podrían catalogar como Digestores Tipo Hindú Modificado.

Se les conoce de ordinario como CSTD (Conventional Stirred Digester). La diferencia 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.

Además de la ventaja que significa el menor tiempo de operación, existen otras como el evitar la formación de una costra de material dentro del digestor; lograr la dispersión de

materiales inhibitorios de la acción metabólica de las bacterias, impidiendo concentraciones localizadas de material potencialmente tóxico para el sistema; ayudar a la desintegración de partículas grandes en otras más pequeñas, que aumentan el área de contacto y por lo tanto la velocidad de digestión; mantener una temperatura más uniforme de la biomasa dentro del digestor para una reacción y degradación más uniformes; inhibir el asentamiento de partículas biodegradables de mayor tamaño; permitir una más rápida separación y el ascenso del gas a medida que se va formando dentro del digestor; y mejorar las condiciones de control y estabilidad de la biomasa dentro del digestor.

#### e.- Digestores de Segunda y Tercera Generación

Este es un concepto nuevo dentro de la tecnología de fermentación anaeróbica, combina las ventajas de varios tipos de digestores en una sola unidad, facilitando el manejo y procesamiento de material biodegradable de diverso origen y calidad.

Generalmente los desechos de origen animal o excrementos de cualquier clase, son procesados en digestores convencionales de tipo continuo, que periódicamente reciben carga y entregan por desalojo efluente ya digerido. El tiempo de operación continua de estos equipos es bastante largo y requiere un mínimo de atención al momento de cargarlos, como es el evitar introducir elementos extraños tales como arena, piedra, metal, plásticos o cualquier otro tipo de material lento o imposible de digerir. Luego de unos cuatro o cinco años se debe detener su funcionamiento para hacer una limpieza general y retirar sedimentos indigeridos.

Cuando a un digestor convencional de tipo continuo se le introducen indiscriminadamente materiales orgánicos de origen vegetal como pasto u hojas de árbol, sobrantes de cosechas o basuras biodegradables, que tienden a flotar en el agua por su alto contenido celulósico, terminan por atascarlo y parar su operación efectiva en poco tiempo, incluso días, dependiendo de la cantidad de material suministrado.

Para evitar taponamientos, la materia de origen vegetal se procesa en digestores convencionales en tandas o carga única (Batch Digestors) en ciclos de 60 a 80 días, lo que supone que para el suministro de gas y efluente durante un año, se debe disponer mínimo de cuatro unidades con una producción alternada. Estas soluciones representan un alto costo y un gran esfuerzo.

Buscando un tipo de digestor ideal y sin los inconvenientes citados, se llegó al concepto de digestor de Segunda y Tercera generación, siendo los clásicos modelos Hindú o Chino, los de la primera.

Este nuevo modelo de digestor retiene la materia de origen vegetal, que normalmente tiende a flotar, dentro de las zonas de máxima actividad bacteriana como son la inferior y la de sobrenadante intermedia, para que las bacterias tengan tiempo de atacar, hidrolizar y procesar efectivamente el material en descomposición; al mismo tiempo permite que los gases y el material parcialmente degradado sigan el recorrido del proceso normal dentro del digestor.

El Digestor de Segunda Generación divide al convencional en dos cámaras, una de ellas a un nivel inferior del resto del digestor. Utiliza compartimentos en ferrocemento o mampostería, espaciados adecuadamente para retener los materiales y las partículas sólidas grandes, pero permite el paso del gas y los líquidos. A este modelo se puede adicionar hasta un 25% de carga de origen vegetal sin que se atasque o paralice la operación.

El Digestor de Tercera Generación modifica radicalmente al de tipo Hindú tradicional, aunque sigue los lineamientos de esta escuela. Ha logrado una eficiencia de trabajo en forma continua que permite cargarlo con toda clase de materiales, hasta un 50 ó 60% de materia de origen vegetal mezclada con excrementos, empleando una sola unidad que trabaja en forma de digestor continuo.

Opera básicamente en dos niveles. En la parte baja del mismo se construye un túnel o laberinto, que sirve para retener temporalmente todos los materiales que tienden a flotar; con las divisiones internas se divide el laberinto en una serie de cámaras independientes pero comunicadas entre sí de forma continua. Por medio de planos inclinados y ranuras delgadas en las placas de ferrocemento que conforman el techo del laberinto, se permite el paso del gas y del material ya hidrolizado y degradado.

Los materiales lentamente digeribles, que completan su ciclo de degradación anaeróbica en más de 100 días, pueden hacerlo al tiempo con excrementos que requieren mucho menos tiempo, entre 15 y 20 días.



El digestor de tercera generación es la mezcla de varios digestores en una unidad. El laberinto es típico del sistema de Tapón o Bolsa, con longitudes efectivas de 20 a 30 metros, es el sistema más sencillo y práctico de todos los digestores de tipo convencional; las diferentes cámaras independientes (6 o más según el diseño) brindan las ventajas de los digestores de carga única; al final del recorrido y en la parte superior, se encuentra la última recámara, grande, que equivale al digestor tipo Hindú, con su campana flotante, carga por la parte inferior y salida del efluente por rebose en la superior. Este tipo de digestor en especial, ofrece una doble ventaja económica, ya que por un lado se construye una sola unidad del tamaño adecuado a las necesidades en lugar de varias independientes más pequeñas; y por otro lado se elimina el costo de mano de obra necesaria para estar cargando y descargando periódicamente las unidades de carga única.

El digestor en forma de tambo, Se puede hacer uniendo los tambos poniéndole basura orgánica y estiércol. Obteniendo en unas semanas gas metano, el cual lo podemos utilizar para la cocción de los alimentos entre otros; este tipo de digestor además de ofrecer grandes ventajas requiere de mantenimiento para un buen funcionamiento, por lo que cada mes se tienen que retirar los “lodos digeridos”. Este lodo el cual es un fertilizante de excelentes propiedades el cual puede utilizarse para mejorar los suelos esto en forma natural o diluirlo para riego.

Como hacer funcionar este digestor, se necesita llenar parte del tanque con alguna mezcla de algún otro digestor que ya esté funcionando. Si no se tiene esa mezcla el proceso de formación de gas tardará varios meses. El resto del tanque se llena con estiércol y agua caliente.

Para un buen funcionamiento del digestor se recomienda abrir la válvula y empujar el tambo pequeño hacia abajo, luego al serrar la válvula no abra más aire en el tambo. Con esto después de algunas semanas no el tambo se comenzara a llenar de gas subiendo poco a poco.

Se recomienda nunca quemar la primera cantidad de gas, porque cuando hay un poco de aire mezclado con gas, se origina una explosión. Es mejor dejar escapar el primer gas sin que arda. Empuje de nuevo el tambo pequeño hacia abajo. Cierre la válvula y deje que el tambo suba de nuevo. Ahora si estamos seguros de que no abra más aire mezclado con gas.

Es importante que al quemar el gas, se abra el tornillo un poco y se encienda con un cerrillo cerca del tubo de salida. Es posible que la primera vez el gas no prenda. Se recomienda dejarlo escapar y esperar una semana más para captar más gas.

La cantidad de estiércol para alimentar el digestor produce gas en la proporción de quince minutos de gas por cada kilogramo de estiércol seco.

No es necesario alimentar este tipo de digestor diariamente puede ser dos veces por mes.

### **Elementos que componen un digestor**

- Cámara de carga : en ella se introducen el material a fermentar, se mezcla con agua y se lo homogeneiza, luego penetran al digestor.

-Conducto de largo : conecta la cámara de carga, con la cámara de digestión.

- Gasómetro: su función es de actuar de pulmón de almacenamiento en los momentos en que no existe el consumo de gas, pues la producción es interrumpida a lo largo de todo el día.

-Cámara de descarga : en ella se acumula todo el material una vez digerido. En cuanto a las posibilidades, Argentina, la tiene por ser un país extenso la utilidad de esta energía debería ser apreciada como una forma económica, de brindar confort al medio rural, sobre todo en regiones donde pasan años antes que llegue allí el gasoducto o la electricidad.

Se conoce que casi tres mil millones de personas en el mundo emplean todavía la leña como fuente de energía para calentar agua y cocinar, lo que provoca, junto a otros efectos, que anualmente se pierdan en el mundo entre 16 y 20 millones de hectáreas de bosques tropicales y zonas arboladas. En respuesta a esta situación surgen varias alternativas para llevar a cabo la cocción de alimentos, que tienen bajo impacto ambiental y su fuente de energía es considerada renovable, una de ellas resulta de la producción de biogás con materia orgánica.

Según la literatura, fue en la India donde se construyó la primera instalación para producir biogás, en fecha cercana al año 1900; a partir de ese momento se ha incrementado el número de biodigestores y actualmente funcionan en ese país alrededor de doscientas mil unidades.

China es hoy la región que tiene un mayor número de este tipo de instalaciones, aproximadamente 6,7 millones.

### **Anaerobiosis del estiércol de bovinos y caprinos**

De acuerdo a (Baquedano,1989;74-82) describe la “digestión anaeróbica” como el proceso de estabilización de la materia orgánica en un medio sin oxígeno, principalmente a partir de bacterias. Este proceso involucra siempre a dos grupos de bacterias que actúan simultáneamente y equilibradamente; estas son acidificantes y metanogenas. El accionar específico de ambos grupos, nos permite describir el proceso de fermentación anaeróbica que se presenta y a la cual podemos separar en tres etapas: a)Licuación de la materia orgánica, b)Formación de ácidos volátiles y c)Formación de gas metano.

Los mismos autores Baquedano y Cofer (1989); señalan que la segunda etapa es la formación de ácidos. En esta fase, estas mismas bacterias (aeróbicas o anaeróbicas)producen los ácidos acético, propionico y butírico principalmente; esta última se presenta en menor cantidad que el primero. Estos ácidos son los que pasan a ser alimento de las bacterias metanogenas. Otra función de este grupo de bacterias acidificantes es la de eliminar el oxígeno del medio (interior del digestor), condición esencial para la vida de las bacterias metanogenas que son anaeróbicas.

Se menciona también que la tercera etapa o deformación de metano, se caracteriza por la entrada en acción de las bacterias metanogenas, que alimentándose de los desechos de las bacterias acidificantes, fabricantes de gases (entre ellos el metano). De ahí la denominación de biogás, pues esto debido a que es producido a partir de una acción biológica.

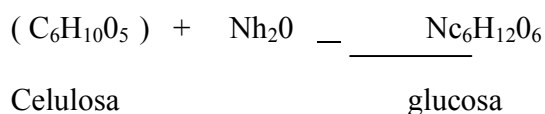
Finalmente los autores anteriores hacen hincapié en que es importante hacer notar la extrema interdependencia que existe entre ambos grupos de bacterias, pues mientras los productores de ácidos suprimen al oxígeno y producen alimento que permite la vida de las bacterias metanogenas, estas últimas eliminan los desechos ácidos y evitan que el medio se vuelva muy ácido e impida así la sobrevivencia del primer grupo de bacterias. La producción de metano sólo es posible si existe un equilibrio entre estas dos poblaciones. (Baquedano y Morales, 1989;85)

La descomposición de la materia orgánica ocurre en dos fases: de licuación y de gasificación. Los productos finales de la primera se utilizan en la segunda. En un sistema bien balanceado y continuo de licuación y gasificación ocurren al mismo tiempo. La licuación de la materia orgánica

ocurre cuando las enzimas catalizan la hidrólisis de carbohidratos complejos a azúcares simples y alcoholes; de lípidos a glicerol; de proteínas a péptidos y aminoácidos; y de grasas en ácidos grasos. La etapa de la gasificación consiste en la conversión de compuestos orgánicos simples a bióxido de carbono y metano, más residuos orgánicos inertes conocidos como lodos dirigidos. La producción de gas metano se debe a la acción de un grupo de microorganismos de la familia Metano bacteriaceae que son anaerobios estrictos que sólo proliferan en ausencia de oxígeno libre y con PH ligeramente alcalino (Instituto de Investigaciones Eléctricas, 1988;)

El genero Clostridium incluye a la mayoría de las bacterias degradantes de las celulosas. Clostridiumdissolvens, un bacilo Gram negativo inmóvil que no fermenta ningún otro carbohidrato únicamente la celulosa y quizás sea el mejor ejemplo. Este microorganismo produce un pigmento amarillo; la digestión de la celulosa resulta de la formación de la enzima endoglucanasa formada como resultado de la interacción de los microorganismos y la celulosa. Los principales subproductos derivados de esta interacción son: ácidos orgánicos, CO<sub>2</sub>, metano e hidrógeno (Allen, 1978:172).

Los organismos fermentados anaeróbicos más comunes en la naturaleza parecen ser los miembros del genero Clostridium; son celulolíticos, presentando frecuentemente esta capacidad en el genero. En la descomposición de la celulosa se requiere el desdoblamiento de este polisacárido mediante enzimas producidas por los microorganismos; por ejemplo, aquellos que utilizan la celulosa deben de convertir la larga cadena del carbohidrato en azúcares simples (glucosa).



Algunos microorganismos son capaces de descomponer la celulosa en ausencia total de oxígeno molecular y el polisacárido desaparece bajo anaerobiosis, aunque sea suministrada en forma purificada o en forma de materiales vegetales. El paso inicial en la destrucción de la celulosa es la hidrólisis enzimático del polímero, donde al sistema enzimático que consiste en un grupo de diferentes enzimas, se le ha dado el nombre de celulasa; esta cataliza la conversión de la celulosa insoluble a mono o disacáridos sencillos solubles en agua; esta conversión es

efectuado por microorganismos anaeróbicos mesófilos (Clostridium cellobiparum) y termofilos (Clostridium thermocellum). Estas bacterias son incapaces de metabolizar completamente aunque sean sustratos simples y cierto número de compuestos orgánicos se liberan como productos finales. Las principales sustancias que se acumulan en ausencia de oxígeno con estos géneros son CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, etanol y ácidos acético, formico, succínico, butírico y láctico lo cual es característico de la ruptura anaeróbica.

De la molécula de celulosa, cuando un suelo se torna anaeróbico, la descomposición se lleva a cabo a través de la acción de bacterias que no requieren oxígeno. Los hongos y los actinomicetos no son de importancia en medios anaeróbicos.

A diferencia de la transformación en el aire, la conversión anaeróbica no se afecta en forma perceptible por la adición de nitrógeno orgánico, puesto que la descomposición anaeróbica proporciona poca energía, las bacterias deben degradar grandes cantidades de sustrato para asimilar una pequeña cantidad de carbono. En consecuencia, existe una demanda proporcionalmente pequeña de nitrógeno para su asimilación dentro de la célula microbiana, menor a la cantidad usualmente presente en residuos vegetales (Alexander, 1980;231-234)

### **Instalación y funcionamiento del digestor anaeróbico**

Los digestores que básicamente se emplean en la obtención del biogás por biodegradación anaeróbica tanto estiércol de bovinos y caprinos así como de desechos orgánicos, se construye de acuerdo a las necesidades; puede ser de una forma muy sofisticada o de una forma sencilla uniendo dos tanques galvanizados de capacidad de 200 litros cada uno, previamente impermeabilizados interior y exteriormente para evitar la corrosión. Este digestor posee salidas y entradas convencionales tanto para el ingreso de la materia prima como para la salida de los gases y fertilizantes ([www.codeso.com/Biogas1.htm/-27k](http://www.codeso.com/Biogas1.htm/-27k)).

### **Ventajas de los biodigestores**

- ❖ Permite disminuir de los bosques al no ser necesario el uso de leña para cocinar.
- ❖ Humaniza el trabajo de los campesinos, que antes debían de buscar la leña en lugares cada vez mas lejos.

- ❖ Diversidad de usos (alumbrado, cocción de alimentos, producción de energía eléctrica, transporte automotor y otros).
- ❖ Produce biofertilizante rico en nitrógeno, fósforo y potasio, capaz de competir con los fertilizantes químicos, que son mas caros y dañan el medio ambiente.
- ❖ Elimina los desechos orgánicos, por ejemplo, la excreta animal, contaminante del medio ambiente y fuente de enfermedades para el hombre y los animales.

La utilización de los biodigestores además de permitir la producción de biogás ofrece enormes ventajas para la transformación de desechos:

- ❖ Mejora la capacidad fertilizante del estiércol. Todos los nutrientes tales como nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio así como los elementos menores son conservados en el efluente. En el caso del nitrógeno, buena parte del mismo, presente en el estiércol en forma de macromoléculas es convertido a formas más simples como amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), las cuales pueden ser aprovechadas directamente por la planta. Debe notarse que en los casos en que el estiércol es secado al medio ambiente, se pierde alrededor de un 50% del nitrógeno.
- ❖ El efluente es mucho menos oloroso que el afluente.
- ❖ Control de patógenos. Aunque el nivel de destrucción de patógenos variará de acuerdo a factores como temperatura y tiempo de retención, se ha demostrado experimentalmente que alrededor del 85% de los patógenos no sobreviven el proceso de biodigestión. En condiciones de laboratorio, con temperaturas de  $35^{\circ}\text{C}$  los coliformes fecales fueron reducidos en 50 – 70% y los hongos en 95% en 24 horas.

## **Resultados en el análisis químico del estiércol**

Análisis químico del estiércol proveniente de la fermentación anaeróbica del estiércol de bovinos y caprinos.

El estiércol de bovinos y caprinos así como los desperdicios de alimentos empleados como materia prima para la producción de biogás se tomó de los establos o fincas en las diferentes comunidades interesadas en la producción; y los resultados de los análisis químicos que se observaron; demuestran que el estiércol de bovino debe fermentarse anaerobicamente durante 45 días.

La fermentación anaeróbica del estiércol de bovinos hace más rápidamente disponibles y asimilables a los nutrimentos en comparación con los métodos convencionales de manejo y aplicación de estiércol, se acepta, debido a que: La fermentación anaeróbica del estiércol de bovinos tarda aproximadamente 45 días; a su vez es importante mencionar que el fertilizante fluido, obtenido en base al mismo procedimiento anaerobicamente, contiene mayor concentración nutrimental respecto a la otra solución como se muestra en las siguientes tablas de análisis.

tabla 6. Análisis de estiércol de bovinos (2002).

Sólidos totales	96.97%
Humedad	3.07%
PH	9.4%
Nitrógeno Orgánico	2.46%
Nitrógeno total	0.06%
Nitrógeno nítrico	0.2574%
Nitrógeno de urea	0.2856%
Nitrógeno amoniacal	30.85%
Azufre total	0.38%
Cloruros	0.94%
Fósforo	0.32%
Potasio	0.485%
Calcio	0.20%
Magnesio	0.216%
Fierro	0.280%
Cobre	42.40 p.p.m
Magnesio	266.80 p.p.m
Zinc	355.10 p.p.m
Boro	No detectado
Cobalto	No detectado
Molibdeno	No detectado



tabla 7. Análisis del fertilizante líquido proveniente de la fermentación anaeróbica del estiércol de bovinos (2002).

Sólidos totales	0.42 g/l
Humedad	999.58 g/l
PH	7.35
Nitrógeno orgánico	0.053 g/l
Nitrógeno total	0.1162 g/l
Nitrógeno nítrico	0.0750 g/l
Nitrógeno de urea	0.0176 g/l
Nitrógeno amoniacal	No detectado
Azufre total	0.0009 g/l
Cloruros	0.046 g/l
Fósforo	0.0011 g/l
Potasio	0.0447 g/l
Calcio	0.024 g/l
Magnesio	0.034 g/l
Fierro	0.0021 g/l
Cobre	0.01104 g/l
Manganeso	0.013 g/l
Zinc	0.00303 g/l
Boro	no detectado
Cobalto	no detectado
Molibdeno	no detectado

El nitrógeno total fue analizado por el método del microkjeldhal en ambas muestras, utilizándose 0.0981 g en el estiércol y 0.1695 g en la muestra líquida. Los nitratos se determinaron en el estiércol por el método modificado por Jones, se emplearon 0.5090 g en su análisis y 1.0132 g en el análisis de la muestra líquida mediante el método de Robertson. El nitrógeno amoniacal se determinó en ambas muestras por titulación con folmoldehído; se emplearon 7.0019 g del estiércol y 14.2183 g de la muestra líquida.

El fósforo se analizó tomándose 2.0092 g de estiércol y 39.5940 g de la muestra líquida; se empleó el análisis por el método del molidovanato espectrofotométrico.

El potasio se determinó utilizándose 2.0903 g del estiércol y 19.9922 g de la muestra líquida; se empleó el método del cobaltinitrito trisódico.

Para el análisis del azufre total, se utilizaron 2.5068 g del estiércol y 5.5901 g de la muestra líquida.

El nitrógeno de la urea se determinó empleándose 9.9962 g del estiércol y 17.8937 g de la muestra líquida.

Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, y Mn, se determinaron en ambas muestras, tomándose 1.0025 g del estiércol y 5.8917 g para la muestra líquida; analizándose por espectroscopia de absorción atómica.

B, Co y Mo, se tomaron para su análisis 20.0110 g del estiércol y 49.60079 g de la muestra líquida, determinándose por espectroscopia atómica.

## CAPÍTULO VIII. METANOGENESIS

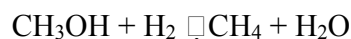
El dióxido de carbono es común en la naturaleza y es un producto importante del metabolismo energético de los organismos quimioorganotróficos. Los procariotas reductores de CO<sub>2</sub> más importantes son los metanógenos, un grupo de arqueobacterias anaeróbicas estrictas que emplean generalmente el H<sub>2</sub> como donante de electrones. Hay por lo menos diez substratos que se convierten en metano por la acción de uno u otro metanógeno, todos los cuales liberan energía adecuada para la síntesis de ATP, incluyendo formiato, acetato, metanol, metilmercaptano y metilamina.

Se los divide en tres clases:

Substratos del tipo CO<sub>2</sub>



Sustratos con grupo metilo



Substrato de acetotróficas



La conversión de acetato a metano aparece como un proceso ecológico muy importante en digestores de residuos y en medios anóxicos de agua dulce, donde no hay una competencia excesiva por el acetato con otras bacterias. A pesar de que la producción de metano está muy extendida, son pocos los compuestos de carbono que sirven como precursores directos de la metanogénesis. Por lo tanto, es un proceso que depende de la producción de esos compuestos por otros organismos, a partir de la materia orgánica

compleja. En muchos ambientes anóxicos los precursores inmediatos del metano son el H<sub>2</sub> y el CO<sub>2</sub> que se generan por las actividades de los organismos fermentadores. En el proceso general de producción de metano a partir de la fermentación de un polisacárido, como la celulosa, pueden intervenir hasta cinco grupos fisiológicos de procariotas (Cofer,1993,76).

### **Producción de estiércol en México**

Para considerar la cantidad del estiércol es importante tomar en cuenta el tamaño del animal, ya que esto influye en la cantidad total de alimento que consume, lo cual está en relación directa con la cantidad total de producción de excretas (materia fecal, orina). Uno de los problemas que causa el estiércol es cuando es emplazado cerca de una área urbana, ya que será necesario transportarlo hasta un lugar en donde pueda ser almacenado o y/o tratarlo. En zonas rurales puede ser utilizado en terrenos para aplicarlo como abono orgánico. Los afluentes que se originan de todos los desagües pueden ir a lagunas de decantación o estabilización, lo cual implica costos, debido a que se esta haciendo uso de maquinaria como tractores, carros auto transportadores, camionetas, Entre otros., y estos al consumir energía fósil (combustible), eliminan gases de combustión a la atmósfera (dióxido de carbono y oxido nitroso) que contribuyen al efecto invernadero (Gil, 2002;143). En la siguiente tabla se muestra la producción de estiércol por día y por especie de diferentes animales.

tabla No. 8 Producción de estiércol por día y por especie.

<b>ESPECIE</b>	<b>NUMERO DE CABEZAS</b>	<b>KG / DÍA</b>	<b>TOTAL KG / DÍA</b>
Bovinos	31,739,000	35	1,110,620,000
Caballos, Asnos y mulas.	21,972,600	30	659,178,000
Cerdos	15,596,700	3.5	54,413,450
Ovinos	4,836,600	2.4	11,607,940
Caprinos	9,150,800	1.6	16,471,446
Aves de Engorda	63,449,300	0.14	18,284,616
Aves de postura	67,103,100	0.14	18,284,616
Guajolotes	9,465,300	0.7	6,675,710
Conejos	1,187,500	0.1	118,750,710
<b>TOTAL 1, 877, 319, 806 KG</b>			

Fuente: Arias 1978, SARH, 1979, citado por (Rentería, 1985;)

### **Las Bacterias Metanogénicas**

(Rentería, 1985;5154) son las bacterias que obtienen su energía a través de la producción metabólica de gas metano, a partir del dióxido de carbono y del hidrógeno. La mayoría son anaerobias, es decir, que viven en ausencia de oxígeno. Las bacterias de este género, provocan la descomposición anaerobia de la materia de origen vegetal, por ello se encuentran en las charcas, en el suelo y en el tracto digestivo de las vacas y de otros rumiantes. Se utilizan en las plantas depuradoras de aguas, en las últimas etapas del tratamiento del lodo. Son difíciles de estudiar por su intolerancia al oxígeno y porque tienen

ciertas necesidades ambientales especiales; la mayor parte del gas natural se ha formado a partir del plancton —pequeños organismos acuáticos, incluyendo algas y protozoos— acumulado en el lecho oceánico. Esos organismos fueron enterrados y comprimidos lentamente bajo capas de sedimentos. A lo largo de millones de años, la presión y el calor generados por los sedimentos acumulados convirtieron ese material orgánico en gas natural.

El gas natural se compone principalmente de metano y otros hidrocarburos ligeros. Como ya se ha dicho, el gas natural suele emigrar con el petróleo a través de los poros y fracturas de la roca almacén y se acumula en depósitos subterráneos. Debido a su densidad (menor que la del petróleo), se sitúa por encima del petróleo. El gas natural también se puede formar en depósitos de carbón, donde a menudo se encuentra disperso en los poros y fracturas del lecho de carbón. Además es una fuente de energía renovable, cuyo fundamento es el gas producto de la descomposición anaeróbica de materia orgánica.

El gas que se obtiene es el metano o gas de los pantanos y sirve como fuente térmica y para generar electricidad. Los microbios que producen el gas metano no soportan ni el oxígeno ni la luz. El método ha sido usado en China e India durante siglos. También se obtienen de la fermentación dióxido de carbono, hidrógeno y una cantidad menor de otros gases. El sulfuro de hidrógeno o ácido sulfídrico formado alcanza el 1% del total de los gases, es tóxico y corrosivo, se descompone en agua y sulfuro que es un excelente abono.

El ácido sulfídrico al reaccionar con agua se convierte en ácido sulfúrico altamente corrosivo si llegara a pasar a un motor que genere electricidad. Para eliminarlo se usan filtros de cal viva o limaduras de hierro, esponjilla metálica de limpieza doméstica o limonita, todas sustancias ricas en compuestos ferrosos. El filtro se coloca entre el biodigestor y el tanque reservorio. El resultado del filtro es la obtención de sulfuro de hierro.

El proceso consta de tres etapas: 1) fermentación, 2) acetogénesis y 3) metanogénesis.

El rendimiento es de un índice de 0.64 m<sup>3</sup> de biogás por m<sup>3</sup> de digestión. El valor energético del biogás está determinado por la concentración de metano de alrededor de 20 – 25 MJ/m<sup>3</sup>, contra un 33 – 38MJ/m<sup>3</sup> del gas natural (Werner et al, 1989;27).

Para su obtención, se vierten los residuos orgánicos incluidos los excrementos animales y/o humanos, residuo de matadero y domiciliarios a cámaras y se les cubre con agua aumentando la humedad de la mezcla hasta un 90%. Es útil adicionar aguas servidas hasta un 5% del volumen. El agua de lavado de corrales es de suma utilidad. Allí bacterias anaeróbicas que trabajan sin oxígeno y producen la fermentación lo que origina lixiviados, que son residuos líquidos sépticos (aún cuando el 85% de patógenos no sobrevive el proceso) y residuos sólidos sin embargo son muy útiles para utilizarse como abonos. Estos biofertilizantes son ricos en potasio y además sirven para reconstituir los suelos. El gas obtenido se puede utilizar como combustible para calefaccionar o accionar turbinas.

La producción de biogás, es naturalmente barata, ya que las instalaciones llamadas biodigestores se logran con tambores para la cámara, una construcción mínima y cañerías. También se pueden cavar hoyos de hasta 5 metros de profundidad y luego se lo revoca con una capa de hormigón de 10 cm; luego se coloca una tapa metálica (cúpula fija) que soporte las presiones. En la tapa se adapta un caño de PVC que conducirá el gas hasta una cisterna colectora y desde allí hacia una cocina o un motor para generar electricidad mediante una turbina. Entre el biodigestor y la cisterna colectora se coloca un filtro para transformar ácido sulfídrico en sulfuro de hierro.

### **El proceso Anaeróbico**

La formación metanogénica ocurre con la ausencia de oxígeno, esta condición se logra en recipientes que impiden la entrada de aire exterior llamado BIODIGESTORES.

Las bacterias responsables de la degradación y producción de gas metano se encuentran presentes en el estiércol, y en los lodos cloacales. El biodigestor, es un recipiente cerrado, que actúa por sistemas de vasos comunicantes, por un conducto ingresa el material a descomponer y por el otro sale en proporción a lo que ingresa el líquido residual que es utilizado. (Branco,1984;119).

## **Desarrollo tecnológico de un reactor anaerobio estricto para la degradación de residuos orgánicos**

Según (Torres,1997;119-122) la materia orgánica es contaminante debido a que las bacterias que las destruyen para alimentarse, absorben el oxígeno del agua en la cual se descarga; en estas condiciones las bacterias pueden llegar a remover tanto oxígeno que la vida aeróbica desaparece y las aguas mueren. Por esta razón no es conveniente desechar los residuos directamente en ríos, quebradas o depósitos de agua. Tampoco se deben esparcir por el suelo para que se descompongan libre y espontáneamente en contacto con el aire, pues el proceso da lugar a la aparición de microorganismos de alto riesgo para la salud.

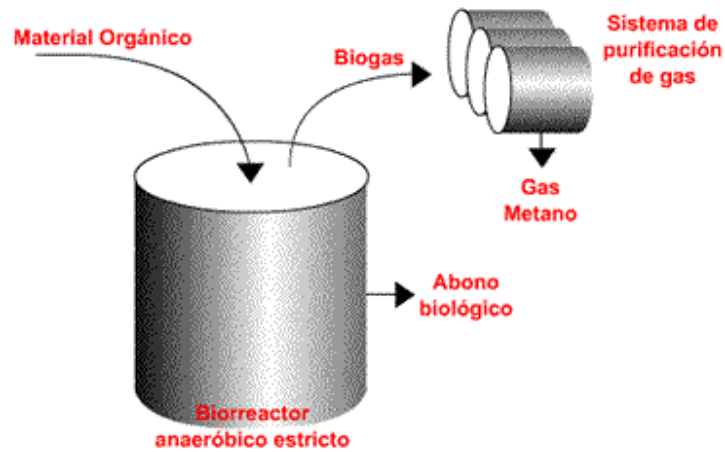
Los problemas enunciados por una disposición libre de los desechos son evitables mediante la digestión anaeróbica. Esta tiene la ventaja de reducir los olores producidos por la descomposición y la carga contaminante propia de la materia orgánica. Además por desarrollarse en ausencia de oxígeno, el proceso reduce a niveles seguros en menor tiempo, los microorganismos que pueden causar enfermedades en personas y animales.

El desarrollo tecnológico de un reactor anaerobio estricto para la degradación de residuos orgánicos CORPODIB ofrece una tecnología Colombiana que implica el uso de un reactor anaerobio estricto el cual utiliza un complejo microbiano que incluye bacterias, hongos y enzimas, para la degradación de residuos orgánicos provenientes del sector agrícola e industria de alimentos.

El reactor anaerobio es aplicable a altas concentraciones de carga orgánica, y cuenta con un sistema de homogenización por bombeo que permite un continuo contacto del material biodegradable con la biomasa. El bioreactor puede manejar flujos desde 5 Ton/día. El reactor anaerobio es un excelente proceso en la degradación de residuos tales como vinazas, residuos agrícolas vegetales, y en general del sector de alimentos. Se han encontrado eficiencias de remoción con el uso de esta tecnología de hasta un 95% de la carga orgánica. Adicionalmente se obtiene biogás con una composición aproximada de : CH<sub>4</sub> : 45% - 60%; CO<sub>2</sub> :28% - 34%; H<sub>2</sub>S : 14% - 18%, el cual es purificado en un proceso posterior hasta obtener gas metano de aproximadamente un 98% de pureza; en la figura N.- 9 se muestra un reactor para la degradación de residuos.



Reactor anaeróbico estricto para la degradación de residuos orgánicos.



### Etapa de digestión

De acuerdo a (Noyola,1994; 20) el proceso de degradación, es el desarrollo de un complejo de bacterias que atacan la materia orgánica original. Se dividen en dos etapas, principales ácidas y metanogénicas. Estas dos etapas se producen en formas simultáneas en los digestores, según las características:

- ❖ Fase ácida:
- ❖ Bacterias facultativas: pueden vivir en presencia de bajo contenidos de oxígeno
- ❖ Su producción final = ácidos orgánicos
- ❖ Fase metanogénica: no viven en presencia de oxígeno.
- ❖ Bacterias anaeróbicas.

### Ventajas del uso de la digestión anaerobia en la producción de biogás y abono biológico

La materia orgánica es contaminante debido a que las bacterias que las destruyen para alimentarse, absorben el oxígeno del agua en la cual se descarga. En estas condiciones las bacterias pueden llegar a remover tanto oxígeno que la vida aeróbica desaparece y las aguas mueren. Por esta razón no es conveniente desechar los residuos directamente en ríos, quebradas o depósitos de agua. Tampoco se deben esparcir por el suelo para que se

descompongan libre y espontáneamente en contacto con el aire, pues el proceso da lugar a la aparición de microorganismos de alto riesgo para la salud. Los problemas enunciados por una disposición libre de los desechos son evitables mediante la digestión anaeróbica.

Esta tiene la ventaja de reducir los olores producidos por la descomposición y la carga contaminante propia de la materia orgánica. Además por desarrollarse en ausencia de oxígeno, el proceso reduce a niveles seguros en menor tiempo, los microorganismos que pueden causar enfermedades en personas y animales (Rivera,2002;33).

### **¿Qué es la Biodegradación?**

Según (Wetzel,1981;679) es la Propiedad que tienen algunos materiales complejos de ser degradados por microorganismos para formar productos finales sencillos. Estos productos se dan de manera natural en el medio ambiente y también se producen de forma artificial (productos xenobióticos). Por tanto, la biodegradabilidad es importante para determinar el comportamiento de estos compuestos químicos en el medio. Dentro del ecosistema biológico, los microorganismos han acumulado un amplio espectro de enzimas para degradar productos naturales; estas enzimas se utilizan mucho en la industria alimentaria y en el tratamiento y purificación de aguas residuales.

Debido al rápido crecimiento industrial que ha tenido lugar en el curso de los últimos 20 a 30 años, la contaminación del medio ambiente se ha intensificado, pues los microorganismos no pueden descomponer algunos de los complejos productos residuales de la industria química. Una proporción considerable de la contaminación del agua se debe a la liberación regular de vertidos industriales en el agua de los ríos. Estos vertidos incluyen residuos agrícolas, domésticos e industriales, que contienen todos ellos una variedad considerable de compuestos biodegradables y no biodegradables. Por tanto, cada vez es más importante identificar los compuestos presentes en tales vertidos para lograr una biodegradación eficaz.

Las sustancias no biodegradables o refractarias resisten los ataques microbianos; pertenecen a esta categoría los fenoles y los compuestos orgánicos clorados. Las sustancias refractarias persisten en el medio durante mucho tiempo, por lo general varios días, mientras que los compuestos biodegradables pueden desaparecer en el curso de minutos u horas.

La biodegradabilidad de un compuesto depende de las condiciones biológicas en las que se degrade y de su estructura química. Ésta influye decisivamente en la biodegradabilidad de algunos compuestos orgánicos; así, la naturaleza química de muchos detergentes, plásticos, materiales de embalaje y residuos médicos los hace resistentes a la degradación microbiana. En general, un número elevado de grupos funcionales (grupos de átomos) enlazados a un anillo bencénico en una molécula orgánica dificulta el ataque microbiano.

La sociedad debe ser consciente de la importancia a largo plazo de los materiales biodegradables. La investigación ha demostrado que los métodos rápidos de selección, introducidos por primera vez en la década de 1970, deberían aplicarse a mayor escala para determinar el potencial de degradación de los componentes para aprovechar producciones como la que se presenta a continuación y los compuestos orgánicos puros. Estas pruebas rápidas y sencillas han permitido identificar compuestos refractarios y potencialmente peligrosos en un amplio espectro de flujos de residuos como la producción de biogás como fuente de energía bajo condiciones no apropiadas.

### **Elaboración de biofertilizante anaeróbico**

De acuerdo a (Jairo, 2002;64-66) la elaboración de biofertilizantes o abonos a partir de residuos sólidos consiste en la degradación de la materia orgánica por microorganismos aeróbicos. Primero se clasifican los residuos para separar materiales con alguna otra utilidad y los que no pueden ser degradados, y se entierra el resto para favorecer el proceso de descomposición. El humus resultante contiene de un 1 a un 3% de nitrógeno, fósforo y potasio, según los materiales utilizados. Después de tres semanas, el producto está preparado para mezclarlo con aditivos, empaquetarlo y venderlo.

Además de generar biogás combustible, la fermentación anaeróbica de la materia orgánica produce un residuo de excelentes propiedades fertilizantes, su composición varía de acuerdo al desecho utilizado, y en promedio un análisis en base seca la cual se muestra en la siguiente tabla:

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
<b>Ph</b>	<b>7.5</b>
<b>Materia orgánica</b>	<b>85%</b>
<b>Nitrógeno</b>	<b>2,6%</b>
<b>Fósforo</b>	<b>1,5%</b>
<b>Potasio</b>	<b>1,0%</b>

La aplicación del efluente al suelo le trae beneficios similares a los que se alcancen con cualquier materia orgánica. Es decir, que actúa como mejorador de las características físicas, facilitando la aireación, aumentando la capacidad de retención de humedad, de infiltración del agua y de intercambio catiónico.

Además, actúa como fuente de energía y nutrientes para el desarrollo de núcleos microbianos que mejoran la solubilidad de los compuestos minerales del suelo. En este sentido presenta ventajas sobre el uso directo de la materia orgánica.

Se ha encontrado por ejemplo que la aplicación del abono producido a partir del estiércol de res en ensayos comparativos con uso directo del estiércol, ha mejorado los rendimientos agrícolas del maíz en un 28%, del arroz en 10%- 14%, del algodón en 24,7% y del trigo en 12,5% a 16%. Esto se debe en parte a la mayor facilidad de absorción de los nutrientes y a la mayor riqueza del efluente: contiene 1,5% de nitrógeno contra 0,75% del estiércol y 0,7% de K<sub>2</sub>O contra 0,4% de materia prima. Esta situación hace que el abono biológico sea más efectivo que muchos de los abonos orgánicos químicos utilizados normalmente.

## **El metano**

(Berkeley,1968; 34) Llamado gas de los pantanos, es el compuesto de carbono e hidrógeno, de fórmula  $\text{CH}_4$ , es un hidrocarburo, el primer miembro de la serie de los alcanos. Es más ligero que el aire, incoloro, inodoro e inflamable. Se encuentra en el gas natural, como en el gas grisú de las minas de carbón, en los procesos de las refinerías de petróleo, y como producto de la descomposición de la materia en los pantanos. Es uno de los principales componentes de la atmósfera de los planetas Saturno, Urano y Neptuno. El metano puede obtenerse mediante la hidrogenación de carbono o dióxido de carbono, por la acción del agua con carburo de aluminio o también al calentar etanoato de sodio con álcali. El metano es apreciado como combustible y para producir cloruro de hidrógeno, amoníaco, etino y formaldehído. El metano tiene un punto de fusión de  $-182,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  y un punto de ebullición de  $-161,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

## **Lineamientos básicos**

Es imposible establecer lineamientos únicos para estos proyectos, debido a las diferencias entre los temas que abarcan; sin embargo, se recomienda seguir dentro de lo posible, los que se citan en los siguientes incisos. Cuando el proyecto requiera enfoques diferentes, éstos deben justificarse y explicarse plenamente respetando el espíritu y los objetivos generales de la convocatoria y de estas recomendaciones.

A) Reflexionar de si el biogás es una acción apropiada.

- 1.- Considerar la ventaja potencial para la conservación
- 2.- Verificar las condiciones previas para la producción del biogás
- 3.- Adoptar una forma de producción apropiada.

B) Planificar el proyecto con las dependencias, comunidades y otros grupos interesados.

- 4.- Encontrar la mejor manera de incorporar ejidos y comunidades
- 5.- Trabajar en conjunto en una estrategia común.

C) Elaborar proyectos viables sobre la producción de biogás.

- 6.- Garantizar el comercio y la apropiación efectiva del proyecto
- 7.- Producir productos de calidad

D) Aumentar los beneficios para las comunidades y el medio ambiente.

- 8.- Manejar de una forma adecuada los impactos del proyecto
- 9.- Obtener el apoyo técnico en las producciones
- 10.- Asegurar la continuidad del proyecto.

## **Consideraciones finales**

- ❖ El proyecto es viable desde sus aspectos técnicos, financieros, legales, institucionales y sociales
- ❖ El aprovechamiento del biogás principalmente para la generación de energía eléctrica es un proceso tecnológicamente probado, ya que en Estados Unidos existen cerca de 350 plantas y en Inglaterra se encuentran operando poco mas de 200.
- ❖ Sus beneficios en materia ambiental son significativos, se estima una reducción significativa de emisiones CO<sub>2</sub>.
- ❖ Se están iniciando a nivel internacional la aplicación de estímulos a empresas que reduzcan emisiones que incidan en el cambio climático global.
- ❖ En México existe un alto potencial de utilización del biogás generado en rellenos sanitarios asociados a servicios municipales.

## **Conclusiones**

La utilización de biodigestores ofrecen grandes ventajas para el tratamiento de los desechos orgánicos de las explotaciones agropecuarias, pues además de disminuir la carga contaminante de las mismas, extrae gran parte de la energía contenida en el material, sin afectar (o inclusive mejorando) su valor fertilizante y controlando de manera considerable los malos olores. Por esta razón el uso del biogás para la generación de electricidad da un valor adicional al empleo de biodigestores en las empresas agropecuarias. Aunque los resultados económicos no se pueden generalizar, pues cambiarán de acuerdo a las circunstancias de cada lugar, en el presente trabajo la utilización del biogás y biofertilizante para generación de energía electricidad ha demostrado importantes beneficios económicos, además de las ventajas anteriormente mencionadas.

En diferentes sectores, se ha logrado con el biogás una disminución del 40% en los costos del kWh al compararse con los costos actuales de la energía suministrada a través del sistema de interconexión, demostrando la factibilidad de integrar la producción de alimentos y energía de una manera sostenible.

Estamos conscientes de que el desafío energético que enfrenta el país rebasa lo puramente tecnológico, esta investigación nos brindó las posibilidades de conocer acerca del aprovechamiento de la energía renovable, en este caso del biogás, y nos actualizó en las características de este tipo de tecnología, su importancia desde el punto de vista medio ambiental y económico-social.

Es tarea de todos continuar esforzándonos por aprovechar al máximo los recursos energéticos con que contamos, usando para ello toda nuestra inteligencia, eficiencia y tenacidad; actualmente un importante número de comunidades rurales de México intentan encontrar nuevas alternativas que les permitan un estilo de vida digno en un mundo cambiante que los ignora y los empobrece. De cara a una multitud de crisis por las que atraviesa la sociedad rural, actualmente un mayor número de personas están comenzando a apreciar la calidad que ofrece la producción de biogás y biofertilizante como doble propósito, para mejorar en gran medida sus condiciones de vida, así como asegurar un poco más la preservación de sus recursos naturales para las generaciones futuras.



Por lo tanto podemos concluir que el diseño establecido en los digestores garantiza el abastecimiento de biogás para la cocción de alimentos de una familia compuesta aproximadamente por cinco miembros, además de conocer la cantidad de excreta diaria podemos determinar la cantidad de biofertilizante diario a obtener en el digestor para aplicar al suelo, por esta razón podemos de terminar que el biogás como combustible es mas ecológico que la leña. Por lo tanto los biodigestores se constituyen en una valiosa alternativa para el tratamiento de los desechos orgánicos de las explotaciones agropecuarias pues permiten disminuir la carga contaminante, mejorar la capacidad fertilizante del material, eliminar los malos olores y, generar un gas combustible denominado biogás el cual tiene diversos usos. Este trabajo demuestra la factibilidad económica de integrar la producción de estiércol y energía de una manera sostenible; por otro lado es importante mencionar que La digestión anaeróbica resulta ser un proceso en extremo atractivo para el tratamiento de residuales fuertemente contaminantes, con la obtención de productos como el BIOGÁS Y EL BIOABONO. La digestión anaeróbica resulta ser un proceso en extremo atractivo para el tratamiento de residuales.

El presente trabajo confirma una crucial lección aprendida en México: las iniciativas rurales sustentables de pequeña escala no pueden ser proyectos aislados, sino más bien integrados en programas más amplios de desarrollo regional; los aportes metodológicos presentados nos permiten conocer la forma más práctica de producir biogás y biofertilizante, aunque estas opciones pueden favorecer a la sociedad rural en particular, dependen de la integración de recursos naturales y humanos valiosos con una perspectiva de sustentabilidad, que favorezca sin lugar a dudas las condiciones de vida de los habitantes locales, pero especialmente a los grupos que estén interesados en este proyecto.

Por lo tanto al concluir esta investigación, considero que hoy se requiere pensar en generar nuevas alternativas para aprovechar las diferentes energías para lograr un verdadero desarrollo sostenible en donde los diferentes recursos con que contamos sean el elemento principal para proteger la sobre vivencia del ser humano.

## **Bibliografía**

Hohlfeld J, Sasse L 1986 Production and utilization of biogas in rural areas of industrialized and developing countries. GTZ. Eschborn, Alemania

Marchaim U 1992 Biogas processes for sustainable development. FAO, Agricultural services bulletin 95. Roma

Mitzlaff, Klaus von 1988 Engines for biogas. GATE – GTZ. Lengericher Handelsdruckerei, Lengerich, Alemania

Muche H, Zimmermann H 1985 La purificación del biogas. GATE – GTZ. Lengericher Handelsdruckerei, Lengerich, Alemania

Pedraza Gloria, Becerra Maricel, Conde Natalia, Chará J 1995 Descontaminación productiva de aguas utilizadas en labores domésticas y en sistemas de producción en zonas de montaña. En: Sistemas Pecuarios Sostenibles para las Montañas Tropicales. CIPAV – CENDI. Cali, Colombia.

Werner U, Stöhr U, Hees N 1989 Biogas plants in animal husbandry. GATE – GTZ. Lengericher Handelsdruckerei, Lengerich, Alemania

Enrico Turrini, CUBA SOLAR, 1999 El camino del sol: Un desafío para la humanidad a las puertas del tercer milenio. Una esperanza para los países del sur.

Editorial Científico-Técnica, 1998 El camino hacia la era solar/colectivo de autores.

Editorial Científico-Técnica, 1998 Edición #36, Revista “Energía y tu”

## **Direcciones en Internet**

- Capraispana . 2005. Sitio la WEB con dirección en Mafalda Impastato Planelles Avda de la Vega 12 - Alcobendas 28100 – Madrid y en internet: <http://www.capraispana.com/curiosidades/biogas/consideraciones.htm>
- Patagon. 2005. Sitio en la WEB con dirección [http://www.patagon.8m.com/ENER\\_ALT.html](http://www.patagon.8m.com/ENER_ALT.html)
- Cuadros J. y J. Menacho. 1994. Conferencia Internacional de Población y Desarrollo, El Cairo. Consulta en la WEB. <http://www.fespinal.com/espinal/castellano/visua/es84-1.htm>

- En Buenas Manos. com. 2005. Consulta en la WEB con dirección: <http://www.enbuenasmanos.com/articulos/muestra.asp?art=243>
- Asociación de Productores de Energías Renovables-APPA. 2005. Consulta en la WEB con dirección: <http://www.appa.es/>
- Asociación danesa de la industria eólica © Copyright 1997-2003 Actualizado el 4 de mayo 2003. Consulta en la WEB con dirección: <http://www.windpower.org/es/tour/wres/index.htm>
- Fernández A. E, S. Carrion, M<sup>a</sup> E. Jaen, L. Luque, A. Vizcaino. 2005. Alumnos de 4º ESO del I.E.S. Victoria Kent de Torrejón de Ardoz (Madrid). Consulta en la WEB con dirección: <http://centros5.pntic.mec.es/ies.victoria.kent/Departamentos/DFyQ/energia/e-3/energias.htm>
- Royo. J y F. Sebastián. 2002. La biomasa como fuente de energía renovable, CIRCE, Universidad de Zaragoza, 1 Noviembre 2002. Consulta en la WEB con dirección: <http://www.cps.unizar.es/~isf/html/bigen01.html#secc1>
- Marcano J.E. 2005. Educación Ambiental en la republica dominicana. Glosario de Terminos. Consulta en la WEB con dirección: [http://www.jmarcano.com/glosario/glosario\\_e.html](http://www.jmarcano.com/glosario/glosario_e.html).
- Ambientum.com © Copyright Ambientum 2000; Madrid Paseo del Apeadero, 34, 28290 - Las Matas. Consulta en la WEB con dirección: <http://www.ambientum.com/>
- Panorama Energetico 2005 .Consulta en la WEB con dirección: [http://www.panoramaenergetico.com/energia\\_geotermica.htm](http://www.panoramaenergetico.com/energia_geotermica.htm)
- USHUAIA, TIERRA DEL FUEGO, (Argentina). Visitas desde Julio de 2003 <http://www.alfinal.com/monografias/energiadelmar.shtml>
- German Appropriate Technology Exchange [en línea] no. 112 (octubre 1999). Valencia, España. Disponible en: <http://www.phytoma.com/>[Consulta: 10 de oct. 2002] <http://afexparachicos.tripod.com/biogas.htm> y <http://www.monografias.com/trabajos15/utilizacion-biogas/utilizacion-biogas.shtml#top>
- Glosario de términos ambientales de EcoPortal.net, © 1999-2005 EcoPortal.net. Copyleft: <http://www.ecoport.net/content/view/full/169/offset/1>
- Wikipedia, la enciclopedia libre, modificada por última vez a las 15:06 2 jun, 2005. <http://es.wikipedia.org/wiki/Biogás>.

- CONSUMER.es EROSKI 2005. Consulta en la WEB con dirección:  
[http://www.consumer.es/accesible/es/medio\\_ambiente/energia\\_y\\_ciencia/2005/04/07/141021.php?from404=1](http://www.consumer.es/accesible/es/medio_ambiente/energia_y_ciencia/2005/04/07/141021.php?from404=1).
- 
- Transforma Regulación eléctrica: avances y tendencias; Año 2, número 4. Mayo de 2003.  
<http://www.cre.gob.mx/publica/transforma/2003/0503.pdf>.
- Escuela de Graduados en Administración y Dirección de Empresas (EGADE). Del ITESM. 2005. Consulta en la WEB con dirección:  
<http://egade.sistema.itesm.mx/aldia/doce/12-p5.htm>.
- Las energías renovables en México y el mundo 2005. Consulta en la WEB con dirección:  
<http://www.funtener.org/pdfs/semblanza.pdf>.
- Carrillo L. 2003. Microbiología Agrícola. Capítulo 5. Consulta en la WEB con dirección:  
<http://www.unsa.edu.ar/matbib/micragri/micagricap5.pdf>
- Bartomeu j, 2005. Ingeniero Agrónomo en especialidad de Medio Ambiente. Consulta en la WEB con dirección: <http://www.telefonica.net/web2/obiogas/quiensoy.htm>.
- Álvarez J. M., L Caneta y C Moyano . 2005. UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE, Facultad de Ingeniería, Cátedra: Máquinas Térmicas II Biomasa y Biogás. Consulta en la WEB con dirección: <http://ing.unne.edu.ar/pub/biomasa.pdf>.
- Generación eléctrica no convencional Redacción SicaNews. Consulta en la WEB con dirección: [newsletter@sicaelec.com](mailto:newsletter@sicaelec.com);  
<http://www.paginadigital.com.ar/articulos/2002rest/2002terc/tecnologia/sica91.html>.
- Manual del biodigestor. daniel bustamante, con ayuda de la asociacion Tamesis Rebel Music y el Banco Agrario de Colombia. 2005. Consulta en la WEB con dirección:  
<http://www.galeon.com/importaculistas/paginas/biodigestor11.html>
- Instituto Virtual de Investigaciones Geográficas e Información Ambiental; Instituto Virtual Ingefor; Lima – Perú [ingefor@hotmail.com](mailto:ingefor@hotmail.com) Derechos Reservados 2004. Consulta en la WEB con dirección:  
<http://www.geocities.com/institutoingefor2/cursos/curso01/biogas1.html#1.1>
- Zúñiga E. J.C. 2004. Producción y utilización de biogas y subproductos del proceso a partir de estiércol de bovino. Proyecto de investigación en proceso. Sección Agrotecnia del Dpto. de Fitomejoramiento. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila. México.

