

UTN-FRD

Universidad Tecnológica Nacional

Facultad Regional Delta



Biogás, tratamiento de estiércol porcino para el desarrollo de energías renovables.

Trabajo Final Integrador presentado para cumplir con los requisitos del Seminario de Integración de la carrera de Posgrado Especialización en Ingeniería Ambiental.

Autor:

Lic. Arienti, Amalia Martina

Profesor:

Dr. Malpartida, Alejandro R.

2021

Contenido

| | |
|--|----|
| Objeto de estudio: | 4 |
| Introducción: | 6 |
| Identificación del problema..... | 8 |
| Justificación: | 9 |
| Marco teórico | 9 |
| - Producción porcina:..... | 9 |
| - Estiércol: | 9 |
| - Contaminación por el estiércol: | 9 |
| Marco conceptual | 11 |
| - Recurso hídrico: | 11 |
| - Aguas superficiales: | 11 |
| - Costos de tratamiento: | 12 |
| - Recurso atmosférico: | 12 |
| - Recurso suelo: | 12 |
| - Biogás: | 13 |
| - Energías renovables: | 14 |
| - Compatibilidad con el medio ambiente:..... | 14 |
| - Suministro de energía adonde se requiera | 14 |
| Marco Normativo | 16 |
| - Normas nacionales:..... | 17 |
| - Autoridades competentes:..... | 27 |
| - Aspectos ambientales: | 27 |
| Políticas y regulación de la generación de energía | 28 |
| Investigación: | 30 |
| Antecedentes:..... | 30 |
| - Historia del biogás:..... | 30 |

| | |
|--|----|
| Ventajas y desventajas | 32 |
| - Ventajas del biogás: | 32 |
| - Desventajas del biogás: | 32 |
| Impacto: | 33 |
| Biogestores: | 35 |
| Clases de Biogestores: | 38 |
| - Biodigestor tubular o de flujo pistón | 38 |
| - Biodigestor de campana fija: | 39 |
| - Biodigestor de campana flotante: | 40 |
| Tiempo de retención hidráulico | 41 |
| Nivel de sólidos totales: | 42 |
| Tipos de usos: | 43 |
| Aplicación del biogás: | 44 |
| Determinantes socio-economicos de la demanda de biogás: | 46 |
| - Insumos con bajo costo de oportunidad: | 47 |
| - Eficiencia del sistema: | 47 |
| - Productos generados que tengan un alto costo de oportunidad: | 48 |
| Fases de producción de biogás: | 48 |
| 1. Hidrólisis y fermentación: | 48 |
| 2. Acidogénica, acetogénica y deshidrogenación: | 49 |
| 3. Metanogénica: | 49 |
| Factores que influyen en el proceso del biogás: | 50 |
| - Tipo y concentración de sustrato (nutrientes disponibles)..... | 50 |
| - Contenido de sólidos | 52 |
| - Tiempo de retención hidráulica. (TRH)..... | 53 |
| - Velocidad de carga volumétrica: | 54 |
| - Cálculo de la alimentación diaria: | 55 |

| | |
|---|----|
| Ejemplo: | 55 |
| - Temperatura del sustrato: | 55 |
| - Relación carbono / nitrógeno: | 57 |
| - Acidez: | 57 |
| - Agentes promotores e inhibidores del proceso: | 58 |
| - Agitación: | 61 |
| Conclusiones..... | 62 |
| Recomendaciones:..... | 64 |
| Bibliografía: | 65 |

Objeto de estudio:

Al igual que casi todo el resto del mundo, la matriz energética argentina está fundada principalmente en fuentes que provienen de combustibles fósiles.

Al día de la fecha la potencia instalada resulta prácticamente insuficiente para cubrir las necesidades energéticas de la población creciente y esto lleva a que las energías renovables vayan ganando protagonismo a nivel mundial, mientras que en Argentina representan solamente un 1,9% de la matriz energética.

Teniendo en cuenta que Argentina es uno de los principales países agro exportadores ya sea por la agricultura, ganadería, apicultura, pesca, silvicultura o la explotación forestal que entre otras integran el sector primario de la economía, y comprende las actividades productivas de obtención de materias primas destinadas al consumo o a la industria, a partir de los recursos naturales.

Tiene a su cargo la fundamental tarea de transformar los productos generados en el sector primario, agregando valor a los mismos. Esta actividad es estratégica para el desarrollo económico y social de la República Argentina y tiene un gran potencial de crecimiento.

En los últimos 20 años, ha avanzado la producción ganadera en sistemas de confinamiento, en parte, como resultado del avance de la frontera agrícola sobre zonas tradicionalmente ganaderas. Esto ha conducido a un aumento de los residuos generados por esos sistemas productivos que no han sido tratados y actualmente los mismos están generando un gran impacto ambiental.

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

Este biogás puede ser utilizado en la generación de energía térmica, eléctrica y como biocombustible. Como resultado de este proceso también se obtiene un subproducto que puede ser utilizado como bio fertilizante. Asimismo, existen múltiples beneficios en la implementación de esta tecnología, entre ellos, la

sustitución de energías no renovables con la consecuente reducción de emisiones de gases efecto invernadero (GEI) que provocan el calentamiento global.

En este trabajo se realizará un análisis para evaluar la capacidad que podría generar el país en producir biogás a partir de residuos generados en granjas de crianza porcina y de los beneficios que esto trae aparejado. Asimismo, se estudiará la viabilidad económica de la implementación de este tipo de energía.

Introducción:

La República Argentina se caracteriza por tratarse de un país lleno de posibilidades extraordinarias para el desarrollo económico y social, gracias a todas las riquezas de sus recursos naturales. Contamos con una diversidad de actividades asociadas a las agrícolas ganaderas (tambos, criaderos, curtiembres, alimenticias, entre otras), que generan gran cantidad de residuos orgánicos que no son tratados adecuadamente y estos crean un riesgo de contaminación tanto al suelo, napas freáticas como así también al aire, por la emisión de los gases.

Por otro lado, y teniendo en cuenta el incremento de la producción industrial de los últimos años, ha generado un aumento a una velocidad imparable la demanda energética del país de manera tal que las inversiones que se van realizando no alcanzan para suplirla.

Actualmente el país enfrenta una importante crisis energética, que genera consecuencias en los sectores económicos, incluyendo la producción y el transporte de la que se origina una problemática a nivel social que termina afectando la calidad de vida de los habitantes, sumado a ésta el contexto mundial de escasez de hidrocarburos y el calentamiento global latente ha llevado tanto a la Argentina como así también a los países del mundo entero a investigar soluciones alternativas que reviertan este escenario, centrándose en las Energías Renovables que aporten mejoras a la diversificación de la matriz energética, aumentando el uso de recursos renovables.

Analizando algunas de las actividades agrícolas ganaderas, se podría llegar a realizar el tratamiento de los excrementos, en las granjas, tanto de criadero como así también de tambos, para la generación de Biogás, pudiendo de esta manera mejorar la calidad de vida de los habitantes, y consiguiendo que los productores puedan utilizar este biogás para las mismas granjas disminuyendo el consumo de la red eléctrica, o gas natural y logrando que los desechos estén bajo un tratamiento que no generen riesgos de contaminación al medio ambiente.

Las fuentes de energías renovables no convencionales, según la manera en que sean aprovechadas, generan impactos ambientales menores en comparación a las fuentes convencionales de energía, y estos ayudan a alcanzar los objetivos de

seguridad de abastecimiento y sustentabilidad ambiental de las políticas energéticas.

La viabilidad económica de su implantación depende de las particularidades de cada país, de elementos tales como el potencial explotable de los recursos renovables, su ubicación geográfica, las características de los mercados energéticos en donde competirán y los beneficios económicos que obtendría el país, incluyendo los ahorros en el consumo de energía importada.

La posibilidad que tiene la Argentina de generar biogás, teniendo en cuenta que el país posee amplias áreas destinadas a la crianza y producción de cerdos en diferentes regiones, es muy grande y generaría muy buenos resultados.

Las energías renovables en una fuente que se caracterizan porque, debido a sus procesos de transformación y aprovechamiento de energía útil, no se consumen ni se agotan en una escala humana.

Entre estas fuentes de energías se encuentran: la energía hidráulica, la solar, la eólica y la de los océanos. Además, según su forma de explotación, también son catalogadas como renovables las energías provenientes de la biomasa y la energía geotérmica.

La bioenergía es la energía que se obtiene a partir de biomasa, la cual es, a su vez, la materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía. Entonces entendemos por biomasa a toda planta o materia que existe sobre la superficie: residuos agrícolas, residuos forestales, restos de todas las agroindustrias y cultivos energéticos, entre otros.

Las bioenergías más conocidas son el bioetanol, el biodiesel y el biogás. Argentina, en estos últimos años, ha experimentado un elevado desarrollo en cuanto a la producción de biodiesel y bioetanol, no de la misma manera en materia de biogás.

Sin embargo, el biogás es un biocombustible muy actual en otras economías latinoamericanas y de la Unión Europea. El desarrollo de todos los biocombustibles en el país contribuirá cada vez más a disminuir la emisión de GEI (Gases de Efecto Invernadero) y a ampliar la matriz energética.

Identificación del problema

La obtención de energía es uno de los mayores problemas a nivel mundial que lleva a cualquier país a generar diferentes estrategias para poder aplacar la problemática. Tomando en cuenta esto, la crisis energética que atraviesa la República Argentina genera repercusiones en múltiples sectores económicos, incluyendo la matriz de producción y el sector de transporte, y trae por todo esto grandes consecuencias sociales que pueden llegar a afectar la calidad de vida de los habitantes.

La situación anterior implica la necesidad de buscar varias fuentes energéticas alternativas que apunten a la diversificación de la matriz energética, aumentando el uso de recursos renovables.

Frente a este argumento, se pretende analizar la capacidad de generación de biogás en Argentina a partir de residuos orgánicos producidos en establecimientos con sistemas de confinamiento generando una fuente de energía renovable viable que pueda ser adoptada en las diversas unidades productivas del sector agropecuario y así poder evaluar si esta es una solución factible en términos de rentabilidad para cubrir algo de la brecha energética del país, analizando el costo en comparación con la importación de energía y conociendo que otros beneficios traería aparejada la producción de biogás como uno de los recursos renovables que tienen un bajo nivel de explotación y así poder contribuir a disminuir la presión sobre los recursos no renovables y a diversificar la matriz energética actual del país.

Justificación:

Marco teórico

- **Producción porcina:**

La producción porcina intensiva genera cantidades considerables de estiércoles, y su disposición final representa un importante problema ambiental.

Aplicaciones no controladas de estiércoles porcinos al suelo, pueden provocar, entre otros excesos de patógenos, compuestos xenobióticos, nitratos, sales, metales pesados (cobre y zinc), y emisión de gases de efecto invernadero.

La expansión de la actividad porcina en el país y el aumento de las tecnologías para la adopción de sistemas la producción de cerdos confinados que se producen en grandes cantidades ha dado lugar a un crecimiento en la generación de los desechos que son a menudo lanzados a ríos o vertederos.

- **Estiércol:**

El estiércol es el excremento de animales de ganadería, el cual se compone de una mezcla de material orgánico digerido y orina, que es utilizada para fertilizar el suelo aportando nutrientes, incrementando la retención de la humedad, y mejorando la actividad biológica, con lo cual se aumenta la fertilidad del suelo y por ende su productividad.

Se trata de una mezcla de materia fecal y alimento rechazado, procedente del tracto digestivo de los animales, contienen residuos no digeridos de alimentos, y factores digestivos como enzimas, jugos gástricos, pancreáticos y células muertas de la mucosa intestinal, bacterias vivas y muertas del colon y productos del desecho del metabolismo.

- **Contaminación por el estiércol:**

El sector ganadero es uno de los principales responsables del efecto invernadero en el mundo y resulta más nocivo que el sector del transporte, según la Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).

La ganadería no sólo amenaza al medio ambiente sino que también es una de las principales causas de la degradación del suelo y de los recursos hídricos. "El

sector ganadero es responsable del 9 % del CO₂ procedente de la actividades humanas, pero produce un porcentaje mucho más elevado de los gases de efecto invernadero más perjudiciales.

Genera el 65% del óxido nitroso de origen humano, que tiene 296 veces el Potencial de Calentamiento Global (GWP, por sus siglas en inglés) del CO₂.

Y también es responsable del 37 % de todo el metano producido por la actividad humana (23 más veces más perjudicial que el CO₂), que se origina en su mayor parte en el sistema digestivo de los rumiantes, y del 64 % del amoníaco, que contribuye de forma significativa a la lluvia ácida.

La ganadería utiliza hoy en día el 30 % de la superficie terrestre del planeta, que en su mayor parte son pastizales, pero que ocupa también un 33 % de toda la superficie cultivable, destinada a producir forraje. La tala de bosques para crear pastos es una de las principales causas de la deforestación, en especial en Latinoamérica, donde por ejemplo el 70 % de los bosques que han desaparecido en el Amazonas se han dedicado a pastizales.¹

Esta actividad es el medio de subsistencia para 1.300 millones de personas en el mundo y supone el 40% de la producción agrícola mundial.” Para muchos campesinos pobres en los países en desarrollo, el ganado es también una fuente de energía como fuerza de tiro y una fuente esencial de fertilizante orgánico para las cosecha.

Durante mucho tiempo el estiércol se utilizó como abono natural para fertilizar el suelo, proporcionándole nutrientes, por lo que se pudo aplicar a la mayoría de suelos de cultivos, a través del proceso de compostaje para ayudar a la fertilización del mismo.

¹ *La ganadería amenaza el medio ambiente.* - <http://www.fao.org/newsroom/es/news/2006/1000448/index.html>

Marco conceptual

- **Recurso hídrico:**

Ríos, lagos, lagunas, quebradas, océanos, se pueden contaminar con materia orgánica (C_xH_yO_z) en presencia de bacterias, microorganismos y oxígeno generan compuestos que acidifican el agua, eliminan el oxígeno vital para la vida de las especies acuáticas y hace que las aguas para consumo humano se contaminen y generen problemas de salud.

- **Aguas superficiales:**

La expansión de la ganadería y la agricultura intensiva, se han establecido mayoritariamente en áreas con escasas de agua. El agua es contaminada por excretas ganaderas directamente a través de escurrimientos, infiltraciones y percolación profunda en las granjas, e indirectamente por flujos superficiales desde zonas de pastoreo y tierras de cultivo (EPA, 2006). El nitrógeno es abundante en el estiércol, y está relacionado con la contaminación de aguas subterráneas por la lixiviación de nitrato a través del suelo, mientras que el fósforo del estiércol está relacionado con la contaminación de aguas superficiales.²

Debido a que el fósforo en el agua no se considera directamente tóxico, no se han establecido niveles estándares en el agua potable. Sin embargo, el fósforo tiene un impacto ambiental importante en los recursos hídricos porque vertido directamente en las corrientes o aplicado en dosis excesivas en el suelo, estimula el proceso de eutrofización el cual aumenta las plantas acuáticas, disminuye el oxígeno disuelto y varía el pH, afectando así la calidad del agua (EPA, 2000). Aunque no se ha reportado la concentración de nitrógeno y fósforo en los distintos cuerpos de agua, la cantidad de ellos lixiviados o arrastrados a mantos acuíferos depende de la precipitación (duración), la percolación (los suelos arenosos presentan altas tasas de percolación) y la pendiente del suelo por donde se desplazan las escorrentías.

² Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de América - <http://www.produccion-animal.com.ar/sustentabilidad/138-estiércol.pdf>

- **Costos de tratamiento:**

Cuando las fuentes de agua son contaminadas, el hombre debe de hacerles un proceso de purificación para su consumo, riego de cosechas etc., lo cual resulta ser muy costoso para la comunidad que demanda este servicio.

- **Recurso atmosférico:**

Los excrementos en su proceso de descomposición generan malos olores y producen gas metano y dióxido de carbono, estos gases ayudan a incrementar el efecto invernadero en el planeta generando un aumento de la temperatura y provocando el deshielo en los polos.

Las descargas a la atmósfera provenientes del estiércol incluyen polvo, olores y gases producto de la digestión anaeróbica y descomposición aeróbica. El polvo se presenta principalmente en operaciones ganaderas en confinamiento en zonas áridas.

Cuando la vegetación es completamente removida, se forma una capa de estiércol y el movimiento del ganado produce enormes nubes de polvo. El olor no presenta riesgos a la salud, pero la mayoría de la gente encuentra inaceptable los olores emitidos por el estiércol en zonas urbanas.

Entre los contaminantes que son liberados por el estiércol hacia la atmósfera se destaca el amoníaco, así como otros gases de efecto invernadero (GEI) que incluyen metano y óxido nitroso.

El estiércol aporta cerca del 25 % de las emisiones antropogénicas de óxido nitroso (IPCC, 2006), el cual se genera durante los procesos de nitrificación (oxidación biológica de amonio a nitrito y nitrato) y desnitrificación (reducción de nitrato a nitrógeno gaseoso), donde el intermediario es el óxido nitroso.

- **Recurso suelo:**

Este es el recurso que se ve más afectado por el mal manejo de los excrementos los cuales generan lixiviados que acaban con la micro fauna del suelo (lombrices, bacteria, hongos, musgos entre otros) aportando a la desertificación del suelo. La presencia constante de estiércol en el suelo evita la recuperación de la flora de la

zona afectada, e incrementa la presencia de plagas y animales que causan enfermedades como las ratas, cucarachas, moscas y zancudos, entre otros.

El suelo puede ser seriamente afectado por el estiércol si contiene concentraciones altas de nutrientes (nitrógeno, fósforo), microorganismos patógenos (*E. coli*), antibióticos, y compuestos que interactúen con el sistema endócrino (hormonas esteroidales, fitoestrógenos, plaguicidas y herbicidas).

En los países donde las regulaciones ambientales son laxas o no existen, el estiércol se aplica al suelo continuamente, excediendo la capacidad de captación de nutrientes por los cultivos (Dietz y Hoogervorst, 1991). Esta sobrecarga de nutrientes en el suelo produce su infiltración por escurrimiento y lixiviación en aguas superficiales y subterráneas.

Por ejemplo, las excretas bovinas frescas esparcidas en áreas de cultivo contienen nitrógeno en forma de nitratos y nitritos; la forma de acumulación de estos compuestos oxidados en el cultivo puede causar intoxicación en cualquier animal que los consuma (Nicholson, 2007).

- **Biogás:**

El biogás es un gas combustible que se genera en medios naturales o en dispositivos específicos, por las reacciones de biodegradación de la materia orgánica, mediante la acción de microorganismos y otros factores, en ausencia de oxígeno. Este gas se ha venido llamando gas de los pantanos.

Es una forma ecológica de producir gas a base de los desechos de basura orgánicos que se produce en los hogares, su tecnología es muy sencilla, consta de un tanque de almacenamiento en donde se echan los residuos orgánicos agregándoles bacterias anaerobias que son la que degradan la materia orgánica produciendo gas metano muy parecido al gas natural, este biogás reduce significativamente el efecto invernadero del planeta y es renovable, contribuye a reducir la cantidad de residuos urbanos o excretas de animales de granjas, además que sirve para calefacciones, cocinar y demás actividades como el gas natural.

Esta tecnología es económica y muy útil para escuelas, comedores comunitarios, emprendimientos industriales y agrícolas especialmente para zonas donde no llega el gas natural de red.

Sirve para proveer de gas y electricidad a municipios alejados, ciudades, pero se necesitaría una fuente constante de residuos, y estos en su gran mayoría son desaprovechados, es importante que la población se concientice de los beneficios que trae esta energía renovable y limpia, que tanto bien puede hacer al planeta, Existen muchas experiencias exitosas en todo el mundo sobre el uso de biodigestores para fabricar gas.

- **Energías renovables:**

Se denomina energía renovable a la energía que se obtiene a partir de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales

El Biogás, comparado a otras energías renovables como el viento o la energía solar, se puede producir sin importar factores adversos como las condiciones climáticas u hora del día. El proceso biológico en una planta de biogás transcurre de manera ininterrumpida, las 24 horas al día, 7 días a la semana.

- **Compatibilidad con el medio ambiente:**

Utilizar biogás ahorra combustible fósil. Aún más no se generan emisiones adicionales de dióxido de carbono (CO₂) al quemarlo. Es cierto que produce dióxido de carbono en el proceso biológico de producción de biogás o en su proceso de combustión, pero existe una diferencia significativa ya que la cantidad de dióxido de carbono (CO₂) es similar a la que necesitan las plantas para crecer y producir recursos renovables, lo cual no genera dióxido de carbono (CO₂) adicional, que se considera dañino para el clima.

- **Suministro de energía adonde se requiera**

El biogás puede ser producido en cualquier lugar sin importar, si es en un pueblo, vereda, ciudad, el calor y la energía pueden ser producido donde se los necesite, no es necesario el uso de tecnología sofisticada, una planta de biogás pequeña es suficiente para calefacción y cocinar, una planta de biogás estándar es suficiente para producir energía y calor constante.

Actualmente los países industrializados utilizan el biogás por los múltiples beneficios ambientales y económicos dado que además de producir calor y energía, en el proceso de producción de biogás aparecen altas concentraciones de Potasio, Nitrato orgánico, Amonio, fosforo, que sirven como fertilizantes muy beneficiosos para la tierra y los cultivos³

³ Schriewer. Sf. Slemania. Información sustentada de la pagina <http://www.schriewer-biogas-consulting.com/sbc2010es/index.php/biogas/ventajas-del-biogas.html>

Marco Normativo

Las regulaciones o normas para el manejo de estiércol generado por el ganado en confinamiento varían mucho entre países y regiones, y su propósito es disminuir el impacto negativo en el ambiente.

Las regulaciones de la calidad del agua y del suelo son por lo general de ámbito local y nacional, mientras que en materia atmosférica los tratados son del ámbito transfronterizo e incluso transoceánico, pues las emisiones locales pueden tener repercusiones globales.

El protocolo de Kioto, resultado de la Convención de las Naciones Unidas para el Cambio Climático realizado en 1992 en Nueva York, estableció mitigar el progresivo calentamiento global mediante la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero. Este protocolo establece que para 2005 la reducción de dichos gases resultaría en una emisión similar a la de 1990. En el Anexo A de este protocolo, el manejo del estiércol está considerado como una de las fuentes de emisiones de GEI en el sector agrícola (UN, 1998).

En el año 1999 fue firmado el protocolo de Gotemburgo por 47 países europeos, EE.UU. y Canadá, como consecuencia de la Convención para abatir la contaminación atmosférica transfronteriza realizada en Ginebra en 1979. El objetivo del protocolo fue disminuir la acidificación, eutrofización y el ozono troposférico, a través de la implementación de límites de emisiones de amoníaco, óxido nítrico, dióxido de azufre y compuestos orgánicos volátiles (UNECE, 1999).

Los diferentes países se comprometieron a generar y divulgar manuales de buenas prácticas para el almacenamiento y aplicación del estiércol a fin de disminuir las emisiones. A su vez, cada uno debería intercambiar entre sí información de mejoras técnicas en las prácticas agrícolas y ganaderas.

Algunos de los objetivos considerados en los tratados internacionales no se han alcanzado. Por ejemplo, para el 2020 las emisiones de GEI aumentarían en 38 % debido a actividades agrícolas, energéticas e industriales principalmente (EPA, 2006). Algunos de los signatarios, especialmente los países industrializados, no están dispuestos a disminuir sus emisiones indicando que el Producto Interno Bruto se reduciría.

- Normas nacionales:

En Argentina hay leyes provinciales, como la Ley de Protección a las Fuentes de Provisión a los Cursos y Cuerpos Receptores de Agua y a la Atmósfera que, en la provincia de Buenos Aires, regula todo tipo de descarga de efluentes residuales (sólidos, líquidos o gaseosos) de cualquier origen que puedan degradar la calidad del aire o del agua.

- El decreto 2009/60 reglamenta esta ley y establece que las municipalidades son responsables de la inspección y la aplicación de multas correspondientes (GBA, 2009). En cada hectárea de suelo en sistemas intensivos de producción pecuaria se puede acumular hasta 220 kg de nitratos y 261 kg de zinc, así como 2500 ppm de fósforo, mientras que en aguas subterráneas se han detectado 180 ppm de nitratos, 7 ppm de fósforo y 90 ppb de cobre, y contaminación por microorganismos patógenos (Herrero y Gil, 2008). A pesar de estas evidencias, las normas específicas para regular estos contaminantes, son escasa y muchas veces confusas.

- La Ley 13660/1949 La Ley 13660 aclara expresamente que la construcción, ampliación o modificación de usinas de producción de gas y depósitos de combustibles líquidos, gaseosos o sólidos minerales estarán sujetas a la autorización del Poder Ejecutivo, que dispondrá las excepciones que estime pertinentes en consideración a su menor importancia.

Promulga que las instalaciones de elaboración, transformación y almacenamiento de combustibles sólidos minerales, líquidos o gaseosos deberán ajustarse, en todo el territorio de la Nación, a las normas y requisitos que establezca el Poder Ejecutivo para satisfacer la seguridad y salubridad de las poblaciones, la de las instalaciones mencionadas, el abastecimiento normal de los servicios públicos y privados y las necesidades de la defensa nacional.

- Decreto 10877/1960 Este decreto aprueba la reglamentación de la Ley 13660 relativa a la seguridad de las instalaciones de elaboración, transformación y almacenamiento de combustibles sólidos, minerales, líquidos y gaseosos. Las instalaciones de producción y transformación para derivados del petróleo, gas natural o manufacturados, cualquiera sea su capacidad, quedan comprendidas en la presente reglamentación. En la introducción dice: La ley 13660 persigue la

protección de las grandes instalaciones en beneficio de la salubridad y seguridad de las poblaciones y la conservación de combustibles de difícil reposición para la defensa nacional. Por ello, al reglamentarla se ha limitado su aplicación en relación con la importancia de los establecimientos, su capacidad de almacenaje y grado de peligrosidad

En otro aspecto, ha sido proyectada como un conjunto de disposiciones tendientes a lograr, en primer término, la prevención del fuego y luego, su inmediato bloqueo para evitar su propagación a otras instalaciones y asegurar su total extinción. En su redacción, se ha tenido muy especialmente en cuenta no sobrepasar el equilibrio o regulación de orden económico que debe primar en toda medida de prevención. Las disposiciones que contiene son el resultado de un estudio amplio y minucioso de las que existen sobre el particular en nuestro país y en el extranjero y podrán actualizarse periódicamente siguiendo el progreso de la técnica y la experiencia que la práctica de su aplicación aconseje.

La presente reglamentación rige para acumulaciones superiores a tres mil metros cúbicos (3000 m³) para fuel oil, gas oil o diesel oil; mil quinientos metros cúbicos (1500 m³) para líquidos inflamables o combustibles líquidos livianos; mil (1000) unidades de cuarenta y cinco kilogramos (45 kg) de gas licuado y mil toneladas (1000 tn) de carbón mineral.

Las instalaciones de producción y transformación para derivados del petróleo, gas natural o manufacturados cualquiera sea su capacidad, quedan comprendidas en la presente reglamentación. Aquellos almacenamientos de hidrocarburos cualquiera sea su modalidad y sus instalaciones asociadas que se encuentran por debajo de las cifras precedentemente establecidas, se regirán por las reglamentaciones que al respecto dicte el Organismo Competente, sin perjuicio de las disposiciones de seguridad que determinen las Municipalidades locales, en cuanto no se opongan a la normativa que resulte de aplicar las especificaciones técnicas y de seguridad que el Organismo Competente determine respecto del cumplimiento y aplicación del presente reglamento.⁴ El biogás no fue expresamente contemplado en el alcance de esta norma, lo que deja abierta la

4 El Decreto PEN 401/2005 modificó el Decreto 10877/60, ampliando la competencia de la ex Secretaría de Energía para asegurar el cumplimiento de la Ley 13660 en todo el territorio nacional, incluyendo las instalaciones de producción y transformación para derivados del petróleo, gas natural o manufacturados, cualquiera sea su capacidad.

posibilidad de que la autoridad competente dicte una reglamentación de seguridad específica, tal como se ha hecho con el biodiesel y el bioetanol.

- Ley 19587/1972 y Decreto reglamentario 351/1979 El capítulo 18 del reglamento de la Ley se refiere específicamente a la protección contra incendios.

La protección contra incendios comprende el conjunto de condiciones de construcción, instalación y equipamiento que se deben observar tanto para los ambientes como para los edificios, aun para trabajos fuera de estos y en la medida en que las tareas los requieran.

Los objetivos a cumplimentar son:

1. Dificultar la iniciación de incendios.
2. Evitar la propagación del fuego y los efectos de los gases tóxicos.
3. Asegurar la evacuación de las personas.
4. Facilitar el acceso y las tareas de extinción del personal de bomberos.
5. Proveer las instalaciones de detección y extinción.

En las plantas de elaboración, transformación y almacenamiento de combustibles sólidos minerales, líquidos o gaseosos, deberá cumplirse con lo establecido en la Ley 13660 y su reglamentación, además de lo siguiente:

1. Se prohíbe el manejo, transporte y almacenamiento de materias inflamables en el interior de los establecimientos, cuando se realice en condiciones inseguras y en recipientes que no hayan sido diseñados especialmente para los fines señalados.

2. Se prohíbe el almacenamiento de materias inflamables en los lugares de trabajo, salvo en aquellos donde debido a la actividad que en ellos se realice, se haga necesario el uso de tales materiales. En ningún caso, la cantidad almacenada en el lugar de trabajo superará los 200 litros de inflamables de primera categoría o sus equivalentes.

3. Se prohíbe la manipulación o almacenamiento de líquidos inflamables en aquellos locales situados encima o al lado de sótanos y fosas, a menos que tales

áreas estén provistas de ventilación adecuada, para evitar la acumulación de vapores y gases.

4. En los locales comerciales donde se expendan materias inflamables, estas deberán ser almacenadas en depósitos que cumplan con lo especificado en esta reglamentación.

5. En cada depósito no se permitirá almacenar cantidades superiores a los 10 000 litros de inflamables de primera categoría o sus equivalentes.

6. Queda prohibida la construcción de depósitos de inflamables en subsuelos de edificios y tampoco se admitirá que sobre dichos depósitos se realicen otras construcciones.

Estas normas deberán cumplirse, sin perjuicio de la aplicación de las medidas de seguridad específicas que establezca la autoridad competente.

- Ley 24076/1992 establece el marco normativo de las actividades de transporte y distribución de gas natural. Esta ley creó el ENARGAS como su autoridad de aplicación. Se fijaron las facultades del ENARGAS, entre las cuales se incluye la de dictar reglamentos a los que deben ajustarse todos los sujetos de la ley en materia de seguridad, normas y procedimientos técnicos. Asimismo, el artículo 21 de esta ley obliga a todos los sujetos activos de la industria del gas a operar y mantener sus instalaciones y equipos en forma tal que no constituyan peligro para la seguridad pública, y a cumplir con los reglamentos y disposiciones del ENARGAS.

Los sujetos activos de la industria del gas natural están obligados a operar y mantener sus instalaciones y equipos en forma tal que no constituyan peligro para la seguridad pública, y a cumplir con los reglamentos y disposiciones del Ente Nacional Regulador del Gas.

Dichas instalaciones y equipos estarán sujetos a las inspecciones, revisiones y pruebas que periódicamente decida realizar el Ente, el que tendrá también facultades para ordenar la suspensión del servicio y la reparación o reemplazo de instalaciones y equipos, o cualquier otra medida tendiente a proteger la seguridad pública”.

▪ Decreto 1738/1992 El Decreto reglamentario de la Ley 24076 define "gas" como "gas natural procesado o sin procesar, gas natural líquido vaporizado, gas sintético o cualquier mezcla de estos gases en estado gaseoso, y que consistan primordialmente en metano". Esta definición permite incluir al biogás dentro de los gases regulados por esta ley en cuanto a su transporte, distribución y almacenamiento. El ENARGAS es competente para redactar las normas NAG para el biogás basado en las normas relacionadas con el gas natural y, eventualmente, como adaptación de otras disposiciones operativas y de seguridad internacionales referidas al transporte, distribución y almacenamiento del biogás.

Código Argentino de Gas – NAG El Código Argentino de Gas es un conjunto de normas y especificaciones técnicas de cumplimiento obligatorio para la industria del gas en la República Argentina, en el ámbito de competencia del ENARGAS. Se trata de un cuerpo normativo totalizador, integrado por documentos elaborados por este ente y otros provenientes del ex Gas del Estado.

Este código está estructurado en cuatro grupos de normas diferenciados por su ámbito de aplicación:

- Grupo 1: Redes de distribución, líneas de transmisión e instalaciones complementarias. Comprende los gasoductos, los ramales, las plantas y estaciones conexas, y las líneas de distribución hasta la instalación de entrega al usuario.
- Grupo 2: Instalaciones internas. Comprende todo lo relativo a las instalaciones internas de los usuarios: cañerías, revestimientos, dispositivos de seguridad, ventilaciones ambientales, etc., así como los requisitos, limitaciones y prohibiciones de la instalación propiamente dicha. No incluye los artefactos.
- Grupo 3: Artefactos. Comprende todo lo relacionado con los artefactos, incluyendo sus dispositivos de seguridad y ventilaciones propias.
- Grupo 4: Gas natural comprimido. Comprende todo lo referido al gas natural comprimido (GNC) y al gas natural a presión (GNP), tanto en aplicaciones vehiculares directas e indirectas (equipos, compresores, surtidores, etc.) como de otro alcance (transporte a granel, estaciones de carga y descarga).

Las normas del código se identifican con la sigla NAG seguida de un guion y un número cuyo primer dígito (el de las centenas) indica el grupo al que pertenece la norma.

Las siguientes normas contienen pautas a tener en cuenta para la habilitación de las plantas de producción de biogás y la homologación de artefactos y equipos a biogás.

- Norma NAG-443 (2008): Establece las pautas mínimas a observar en el proyecto, construcción, pruebas y habilitación de las instalaciones pertenecientes a plantas de carga y descarga de GNC o GNP, a granel, abastecido por vía terrestre. Asimismo, determina lo que hay que tener en cuenta en la operación y mantenimiento del sistema a fin de garantizar las condiciones originales de seguridad y minimizar situaciones de riesgo originadas por fallas humanas.
- Norma NAG-301 (2006): Establece la clasificación de los artefactos según los gases de consumo.
- Norma NAG-300 (2009): Establece requisitos mínimos de seguridad y eficiencia energética para artefactos de uso doméstico que utilizan gas como combustible.
- Norma NAG-200 (1982): Reglamenta las instalaciones domiciliarias de gas.
- Norma NAG-201 (1985): Reglamenta las instalaciones industriales de gas
 - Resolución ENARGAS 138/1995 aprueba las Condiciones generales para la acreditación de organismos de certificación de artefactos y sus accesorios que funcionen con gas natural, con GLP, GNC y tuberías plásticas. Antes de esta resolución ya existían organismos nacionales e internacionales con capacidades técnicas comprobadas para asumir las tareas asociadas con la certificación de calidad.

Estos organismos emiten normas de calidad de cumplimiento voluntario, que, aplicadas en forma disciplinada, facilitan la aceptación de los bienes y servicios bajo ellas certificados en la mayoría de los mercados externos. Sin perjuicio de ello, el ENARGAS consideró conveniente impulsar la creación de un sistema eficiente de acreditación y certificación de calidad, específicamente, de fabricación de equipos, artefactos y sus accesorios que funcionen con gas natural, con GLP por redes, GNC y tuberías plásticas.

A tal efecto, se conformó un registro de organismos certificadores para el cumplimiento de la normativa vigente. El ENARGAS estableció las condiciones de acreditación que deben satisfacer quienes pretendan desempeñarse como organismos certificantes dentro de aquel registro.

Estos organismos serán los responsables de la planificación, coordinación, administración y ejecución integral de los trabajos relacionados con la aprobación y certificación de la calidad de productos relacionados con el gas, garantizando el cumplimiento de las normas que el ENARGAS decida aplicar.

Tales normas son de cumplimiento obligatorio para los organismos certificantes, fabricantes, comercializadores, importadores y usuarios finales. Pueden registrarse como organismos certificadores ante el ENARGAS organismos, institutos y organizaciones especializadas que tengan capacidad y confiabilidad para administrar un sistema de certificación de conformidad con normas, en forma objetiva e imparcial, prescindiendo de todo interés o relación directa o indirecta con los sujetos involucrados en el sector.

Se certifican: • Artefactos a gas natural y/o GLP por redes. • Accesorios para gas natural y/o GLP por redes; tuberías plásticas. • Equipos y recipientes para GNC. • Elementos constitutivos del equipo de conversión de GNC.

Los Organismos de Certificación deben refrendar, por medio del ensayo de prototipos, que los productos se adecuen a las normas específicas y reglamentaciones vigentes, emitir el certificado correspondiente y remitir copia al ENARGAS.

- Ante la contribución de los biocombustibles para minimizar los efectos del cambio climático, se estableció, que todos los proyectos calificados y aprobados por la Autoridad de Aplicación serán alcanzados por los beneficios que prevén los mecanismos de desarrollo limpio (Derechos de Reducción de Emisiones; Créditos de Carbono y cualquier otro título de similares características) del Protocolo de Kyoto, de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático de 1997, ratificado por Argentina mediante ley N° 25.438/2001 y los efectos que de la futura ley reglamentaria de dichos mecanismos dimanen.

- En el año 2006, se sancionó la Ley 26.093, completando el vacío legislativo que existía hasta ese momento en el marco regulatorio de las energías renovables en Argentina. En efecto, por primera vez, se estableció un “Régimen de Regulación y Promoción para la Producción y Uso Sustentables de Biocombustibles”, con una serie de incentivos tributarios por un plazo de vigencia de quince (15) años a partir de su aprobación

Define como biocombustibles el bioetanol, biodiesel y biogás que se produzcan a partir de materias primas de origen agropecuario, agroindustrial o desechos orgánicos, que cumplan los requisitos de calidad que establezca la autoridad de aplicación. Según dispone, sólo podrán producir biocombustibles las plantas habilitadas, con la calidad de biocombustibles y producción sustentable requerida, para lo cual los proyectos deberán someterse a una EIA que incluya el tratamiento de efluentes y la gestión de residuos.

También ordena que el biocombustible gaseoso denominado biogás sea utilizado en sistemas, líneas de transporte y distribución, de acuerdo con lo que disponga la autoridad de aplicación. Por otra parte establece la obligación del Estado nacional de utilizar biogás sin corte o mezcla.

Con un claro enfoque en el desarrollo del biodiésel, se estableció que los proyectos de radicación de industrias de biocombustibles gozarán de los beneficios de la ley siempre que cumplan determinados requisitos, entre los que se exige que su capital social mayoritario sea aportado por el Estado nacional, la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, los Estados provinciales, los municipios o las personas humanas o jurídicas dedicadas mayoritariamente a la producción agropecuaria.

El cupo fiscal total de los beneficios promocionales se fijaría anualmente en la respectiva Ley de Presupuesto. Se priorizarían los proyectos en función de los siguientes criterios: promoción de las pequeñas y medianas empresas; promoción de productores agropecuarios; promoción de las economías regionales. Los beneficios promocionales se refieren a la devolución anticipada del Impuesto al Valor Agregado y a la amortización acelerada en el Impuesto a las Ganancias. Esta Ley indica que se deberá cumplir funciones de la autoridad de aplicación: a) Promover y controlar la producción y uso sustentables de biocombustibles. b)

Establecer las normas de calidad a las que deben ajustarse los biocombustibles.
c) Establecer los requisitos y condiciones necesarios para la habilitación de las plantas de producción y mezcla de biocombustibles.

La habilitación correspondiente se otorgará, únicamente, a las plantas que cumplan con los requerimientos que establezca la autoridad de aplicación en cuanto a la calidad de biocombustibles y su producción sustentable, para lo cual deberá someter los diferentes proyectos presentados a un procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) que incluya el tratamiento de efluentes y la gestión de residuos”.

- Decreto 109/2007 reglamentario de la Ley 26093 aclara que quedan sujetas al régimen las actividades de producción, mezcla, comercialización, distribución, consumo y uso sustentables de biocombustibles. Dispone que la autoridad de aplicación ejercerá –entre otras– las siguientes funciones: b) Controlará las actividades y calidad del producto en las etapas de producción, mezcla y comercialización de biocombustibles. d) Dictará la normativa técnica, definirá las condiciones mínimas de seguridad y los requerimientos de tratamiento de efluentes de las plantas de producción, mezcla, distribución y despacho de biocombustibles.

- Resolución ex SE 1296/2008 establece las condiciones mínimas que deben cumplir las plantas de elaboración, almacenamiento y mezcla de biocombustibles en relación con la seguridad en caso de incendio. A pesar de referirse a los biocombustibles en general, la norma está enfocada en la habilitación de plantas de biodiesel.

La estructura de esta resolución es la siguiente:

- Nomenclatura
- Clasificación de plantas
- Condiciones generales
- Edificios
- Tanques y contenciones
- Drenajes, transferencias y cañerías
- Carga y descarga
- Protección y control de incendios.

- Clasificación de zonas
- Para cada categoría de planta
- Defensas activas
- Defensas pasivas
- Medidas de contención
- Medidas especiales para el almacenamiento de biogás
- Rol de incendios
- Defensas en muelles

▪ En 2015, la República Argentina promulgó la Ley 27191 –que modificó la Ley 26190–, con el objetivo de fomentar la participación de las fuentes renovables hasta que estas alcancen un 20% del consumo de la energía eléctrica nacional en 2025, otorgando a la biomasa una gran relevancia. La biomasa es una de las fuentes de energía renovable más confiables, es constante y se puede almacenar, lo que facilita la generación térmica y eléctrica. En virtud de sus extraordinarias condiciones agroecológicas, y las ventajas comparativas y competitivas de su sector agroindustrial, la Argentina es un gran productor de biomasa con potencial energético.

▪ Resolución MINEM 86/2016 de la normativa vigente resulta que las funciones establecidas en el artículo 3 del Decreto 109/2007, en relación con el dictado de la normativa técnica y control de las condiciones mínimas de seguridad y calidad de biogás, corresponderían a la ex Secretaría de Recursos Hidrocarburíferos (hoy Subsecretaría) dependiente del ex Ministerio de Energía y Minería (hoy Secretaría de Gobierno de Energía). En caso que este organismo lo considerase pertinente, podría dictar una resolución para atribuir dicha competencia a la Subsecretaría de Energías Renovables.

No hay, en cambio, una regulación orientada a la habilitación de plantas de producción de biogás. En este marco, un estudio preliminar concluyó que el principal incentivo para la promoción del biogás es la reglamentación de las condiciones mínimas de seguridad y la elaboración de guías ambientales para la habilitación de las plantas que produzcan esta bioenergía. Sin dicha reglamentación, los potenciales inversores no saben a qué atenerse. La ausencia de una normativa específica dificulta conocer cuáles son los requisitos necesarios

para habilitar este tipo de plantas y cuál es el camino crítico que deben recorrer los proyectos que se encuentran sujetos a evaluación por parte de las autoridades.

Por esa razón, el principal objetivo de este trabajo es contribuir a la eliminación de las actuales barreras para el desarrollo de proyectos de producción y comercialización de biogás en el país.

Resulta prioritario que tal desarrollo tenga lugar conforme a normas de seguridad y calidad que permitan:

- Evitar cualquier daño a las personas y a las cosas;
- Promover la viabilidad técnica y económica de los proyectos;
- Asegurar entornos óptimos de uso para los interesados.

- **Autoridades competentes:**

La Secretaría de Gobierno de Energía tiene competencia para dictar la normativa relacionada con los aspectos técnicos, de seguridad y habilitación de las plantas de producción de biogás, en su carácter de autoridad de aplicación de la Ley 26093. El ENARGAS es responsable de fijar la normativa técnica y de seguridad para las actividades de transporte, distribución, almacenamiento y uso de biogás, cuando estas se realicen en el ámbito de actuación de las Licenciatarias de Transporte y Distribución de Gas Natural reguladas por la Ley 24076.

- **Aspectos ambientales:**

En materia ambiental, tampoco hay normas que apliquen específicamente a los proyectos de producción o de uso de biogás. Por aplicación de los preceptos de la Constitución Nacional (Artículo 124.º), la competencia en materia ambiental corresponde a las provincias¹, con las limitaciones establecidas a favor de la Nación.

En este sentido, la Nación cuenta con facultades para dictar las normas de presupuestos mínimos de protección ambiental, que imponen un piso uniforme en todo el territorio nacional. En estos casos, las provincias tienen facultades de carácter complementario, sin poder establecer legislación o parámetros de protección que sean inferiores a los establecidos por la Nación, y quedan además

obligadas a adecuar la normativa provincial que no cumpla con los presupuestos mínimos.

Así, por aplicación de la Ley General del Ambiente, todos los proyectos que sean capaces de degradar el entorno ambiental, alguno de sus componentes o afectar la calidad de vida de la población en forma significativa deben contar con una Evaluación de Impacto Ambiental (EIA).

Sin embargo, no hay una norma nacional de presupuestos mínimos para la realización de la EIA, por lo que dicho procedimiento queda sujeto –por el momento– a las normas provinciales. Por ello, se recomienda el dictado de una guía técnico-regulatoria o de condiciones mínimas ambientales para la habilitación de plantas de bioenergía a nivel nacional que pueda ser adoptada por las jurisdicciones provinciales.

Políticas y regulación de la generación de energía

La Secretaría de Energía es la encargada de fijar las políticas, mientras que el Ente Nacional Regulador de la Electricidad (ENRE) es el organismo independiente, dentro de la Secretaría de Energía, que tiene la responsabilidad de aplicar el marco regulatorio establecido por la ley 24.065 de 1992.

El ENRE tiene a su cargo la regulación y supervisión general del sector bajo control federal. Los organismos reguladores provinciales controlan el resto de las empresas de suministro. El ENRE y los reguladores provinciales fijan las tarifas y supervisan que los agentes de transmisión y distribución regulados cumplan con las normas de seguridad, calidad, técnicas y ambientales.

Cammesa es quien administra el mercado eléctrico mayorista, debiendo ocuparse de la operación y despacho de la generación y el cálculo de precios en el mercado spot, es decir, es aquel en el que el valor del activo financiero se paga al contado (precio spot) en el momento de la entrega. Sus principales funciones también incluyen la operación en tiempo real del sistema eléctrico y la administración de las operaciones comerciales en el mercado eléctrico.

Por otra parte, la empresa Energía Argentina Sociedad Anónima (Enarsa), fue creada en el 2004. Nació como una empresa administrada por el estado nacional

de Argentina para la explotación y comercialización de petróleo y gas natural, así como para la generación, transmisión y comercialización de electricidad.

Investigación:

Antecedentes:

Desde la revolución industrial los combustibles fósiles han constituido una gran parte de nuestros energéticos, sin embargo el crecimiento de la población ha dado lugar a que estos recursos se vean agotados, causando además un serio problema en el medio ambiente debido a los gases efecto invernadero. El aumento del precio de los combustibles fósiles y los esfuerzos por reducir este tipo de emisiones que producen el efecto invernadero han producido un interés considerable en las fuentes de energía renovables.

- **Historia del biogás:**

Las primeras menciones del Biogás se ubican en el año de 1600, cuando fue identificado por varios científicos como un gas proveniente de la descomposición de la materia orgánica.

Posteriormente, en el año 1890 se construye el primer biodigestor a escala real en la India.

En el año 1866, un alumno de Pasteur, Bechamp, fue uno de los primeros en demostrar concluyentemente que la formación de Metano es un proceso biológico.

Año 1875: Popoff agregó, por primera vez, materiales celulósicos a los lodos fluviales (fangos) con fines de fermentación y pudo producir hidrógeno y metano.

Año 1890: se construyó el primer biodigestor a escala real en la India.

Año 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. Tras las guerras mundiales comienza a difundirse en Europa las llamadas fábricas productoras de Biogás cuyo producto se empleaba en tractores y automóviles de la época. En todo el mundo se difunden los denominados tanques Imhoff para el tratamiento de aguas cloacales colectivas.

El gas producido se utilizó para el funcionamiento de las propias plantas, en vehículos municipales y en algunas ciudades con lo que se llegó a inyectar en la red de gas comunal. Durante la Segunda Guerra Mundial comienza la difusión de

los biodigestores a nivel rural tanto en Europa como en China e India, que se transforman en líderes en la materia.

Año 1901: Schengon, describió más detalladamente las características morfológicas de las metanobacterias y surgió un concepto relativamente claro de su capacidad de conversión.

Dicho evento se vio interrumpido por el fácil acceso a los combustibles fósiles y la crisis energética de la década de los 70s, en la que se reinició con gran ímpetu la investigación y extensión en todo el mundo, incluyendo la mayoría de los países latinoamericanos. En los últimos 20 años se han tenido fructíferos resultados en cuanto a descubrimientos sobre el funcionamiento del proceso microbiológico y bioquímico, a través del material de laboratorio, que permitieron el estudio de los microorganismos que intervienen en condiciones anaerobias (ausencia de oxígeno) para producir biogás.

Estos avances en la comprensión del proceso microbiológico han estado acompañados por importantes logros de la investigación aplicada obteniéndose grandes avances en el desarrollo tecnológico.

Actualmente, los países con tecnologías más avanzadas en la aplicación de biodigestores son: China, India, Holanda, Francia, Gran Bretaña, Suiza, Italia, EE.UU., Filipinas y Alemania. A lo largo de todos estos años, la tecnología para la digestión anaeróbica fue especializándose y actualmente se utiliza en diferentes campos con objetivos muy variados.

A través del tiempo la tecnología de la digestión anaerobia se fue especializando abarcando actualmente muy diferentes campos de aplicación con objetivos muy diferentes.⁵

⁵ *García R. O, Sosa M.M, (2010), "Generación de Energía Eléctrica a través de la Biomasa", Instituto Politécnico Nacional Arienti, Amalia Martina*

Ventajas y desventajas

- **Ventajas del biogás:**

- La fermentación anaeróbica de la materia orgánica produce un residuo de excelentes propiedades fertilizantes y esto le trae beneficios al suelo, similares a los que se alcanzan con cualquier otra materia orgánica. Es decir, actúa como mejorador de las características físicas, facilitando la aireación, aumentando la capacidad de retención de humedad, la capacidad de infiltración del agua y la capacidad de intercambio catiónico.

- 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.

- Depuración ambiental y ecológica (contaminación, calentamiento global).

- Fertilizantes de gran calidad.

- Por medio de esta técnica se contribuye a la prolongación de la vida útil de las reservas con que se cuenta. La materia prima es existente en cualquier lugar.

- Evita la dependencia energética del exterior.

- Se tiene gran excedente de materia prima disponible.

- Se disminuyen las emisiones nocivas que crean el efecto invernadero.

- La materia prima es un recurso doméstico, que no está afectado por fluctuaciones de precio a nivel mundial y/o por las incertidumbres producidas por las fuentes de combustibles importados.

- **Desventajas del biogás:**

La actividad metabólica involucrada en el proceso metano génico se ve afectada por diversos factores. Debido a que cada grupo de bacterias que interviene en las distintas etapas del proceso responde en forma diferencial a esos cambios, no es posible dar valores cuantitativos sobre el grado que afecta cada cambio a la producción de gas en forma precisa.

Entre los factores más importantes, pueden considerarse los siguientes:

- Tipo de sustrato (nutrientes disponibles).

- Temperatura del sustrato; la carga volumétrica.

- Tiempo de retención hidráulico.

- Nivel de acidez (pH).
- Relación Carbono/Nitrógeno.
- Concentración del sustrato; el agregado de inoculantes.
- Grado de mezclado.
- Presencia de compuestos inhibidores del proceso.

Impacto:

Las plantas de tratamiento de desechos industriales, han tenido una importante evolución en los últimos años y están difundándose en Europa y China, en combinación con tratamientos aeróbicos convencionales. Se utilizan reactores anaeróbicos de grandes dimensiones (más de 1.000 m³ de capacidad), que trabajan a temperaturas mesofílicas (20°C a 40°C), o termofílicas (más de 40°C), con sofisticados sistemas de control y generalmente conectados a equipos de cogeneración que brindan como productos finales; calor, electricidad y un efluente sólido de alto contenido proteico, para usarse como fertilizante o alimento de animales.

En Latinoamérica, hay algunos desarrollos en Brasil y Colombia. Argentina ha desarrollado tecnología propia para el tratamiento de vinazas, residuo de la industrialización de la caña de azúcar. El número de reactores de este tipo aún no es importante en el mundo pero los continuos descubrimientos, reducciones de costos y mejoramiento de la confiabilidad hacen suponer un amplio campo de desarrollo en el futuro.

En el área Rural, la aplicación del Biogás ha tenido un gran desarrollo en dos campos diferentes: El primero, con el objetivo de dar energía, sanidad y fertilizantes orgánicos a los agricultores de zonas marginales o de sectores rurales de bajos ingresos y difícil acceso a las fuentes convencionales de energía. La tecnología desarrollada para estos fines ha buscado desarrollar digestores de mínimo costo, fáciles de operar y mantener, pero los niveles de producción de energía que se alcanzan por estos medios son sólo para autoconsumo.

El segundo tipo de tecnología está dirigido al sector agrícola y agroindustrial de ingresos medios y altos, con el objetivo de brindar energía y solucionar graves problemas de contaminación. En este caso, los digestores presentan alta eficiencia, un mayor costo inicial y un manejo y mantenimiento más complicados.

Ambos tipos de digestores se encuentran hoy día en continua difusión. Los más sencillos han tenido una amplia aceptación en China, India, Filipinas y Brasil; debido a que en estos países se ejecutaron importantes planes gubernamentales que impulsaron y apoyaron con asistencia técnica y financiera su empleo. Con respecto a los digestores de alta eficiencia, la mayoría se encuentran instalados en Europa.

En el resto del mundo no se ha superado aún la etapa de unidades demostrativas o emprendimientos particulares aislados. El tratamiento de líquidos cloacales mediante sistemas anaeróbicos solos o combinados con tratamientos aeróbicos está muy difundido en todo el mundo desde hace más de 50 años. Ya en 1975, el biogás generado por esta técnica en Europa alcanzaba un total de alrededor de 240 millones de m³ anuales.

Las constantes innovaciones en los equipos de cogeneración aseguran un sostenido desarrollo en este campo. Un aspecto importante a considerar es que la incorporación de esta tecnología obliga a una estricta regulación del tipo de productos que se vierten en los sistemas cloacales urbanos; por eso en los países donde los desechos industriales son vertidos sin tratar en las cloacas, los reactores anaeróbicos han tenido graves problemas de funcionamiento y en muchos casos han sido abandonados.

El relleno sanitario, muy difundido en todo el mundo para eliminar los desperdicios de las ciudades; ha ido incorporando, técnicas de extracción y purificación del gas metano que genera su descomposición; disminuyendo de esta manera los graves problemas que genera, como la muerte de la vegetación de las zonas cercanas, los malos olores y la formación de mezclas explosivas de gases que pueden acumularse en lugares cerrados.

El avance de esta técnica ha permitido que importantes ciudades del mundo, como es el caso de Santiago de Chile en América Latina, incluya un importante porcentaje de gas procedente de esta fuente en la red de distribución urbana de gas natural. Todos los campos de aplicación analizados muestran que la tecnología bajo estudio se encuentra en una franca etapa de perfeccionamiento y difusión.

Cuando el estiércol es usado con fines agronómicos puede provocar diferentes impactos sobre el suelo y cultivo, dependiendo del sistema de manejo. Es una valiosa fuente de nitrógeno (N), pudiendo sustituir total o parcialmente la fertilización mineral.

La cantidad de metano emitido por el tipo de manejo de desechos es una función de tres factores el tipo de tratamiento o almacenamiento, las condiciones ambientales y la composición del estiércol. Los sistemas líquidos producen emisiones de metano mayores a otros sistemas. (EPA, 2015) La producción de metano también depende del tipo de manejo de estiércol utilizado, en el caso del estiércol del cerdo se utiliza el sistema de manejo líquido incluye lagunas de oxidación, tanques de almacenamiento y pozos profundos.

La carencia de energía en zonas rurales de energía eléctrica a nivel regional es el principal factor para que se den nuevas alternativas para la producción de energía eléctrica que puedan suplir dicho aumento de la demanda. Los altos precios de combustible y las elevadas tarifas locales de la energía eléctrica son factores fundamentales para desarrollar plantas de biogás a nivel nacional y regional que produzcan energía a partir del uso de los desechos de la producción agropecuaria.

Biogestores:

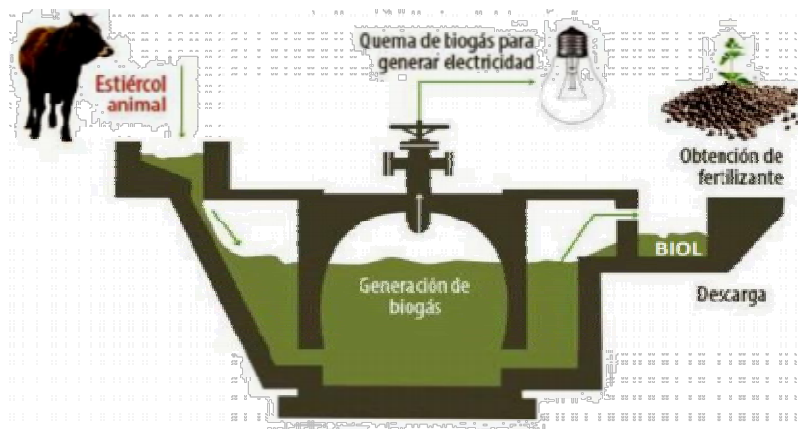
Un biodigestor es una cámara hermética e impermeable en la que se depositan desechos orgánicos (estiércol o material vegetal) y agua cruda por un periodo de 35 a 45 días aproximadamente durante los cuales se produce el proceso bioquímico y la acción bacteriana, desarrollándose estas dos simultánea y gradualmente.

Todo esto en condiciones ambientales y químicas favorables, en esta acción se descompone la materia orgánica, para luego ser usada como combustible.



Un biodigestor puede ser construido de cemento, plástico, dependiendo del recurso económico y pueden ser ubicados de acuerdo al requerimiento y uso de suelo donde se lo ubique. Un biodigestor anaerobio es un sistema que aprovecha la fermentación de las bacterias presentes en la materia orgánica en ausencia de oxígeno para transformarla y producir biogás, componente energético empleado para la generación de electricidad, calefacción, etc. y un subproducto formado por una suspensión acuosa lodo, que puede ser usada como fertilizante orgánico – bioabono: BIOL y BIOSOL.

Este lodo, rico en Nitrógeno, Fósforo y Potasio; entre otros minerales, presenta una alta calidad agronómica, ya que mejora la absorción de nutrientes y promueve el crecimiento de tallos, frutos y raíces, gracias a las hormonas vegetales de crecimiento que forman parte de su composición.



El proceso de digestión anaerobia produce de 400 a 700 litros de gas por cada kilogramo de materia volátil destruida, según sean las características de la materia orgánica incorporada al biodigestor.

El biogás del digestor (debido al metano) es una mezcla de CH₄ con el aire es combustible y arde con llama azul y posee un poder calorífico aproximado de 4,500 a 5,600 Kcal / m³. El poder calorífico del biogás está determinado por la concentración de metano (8,500 Kcal / m³), pudiéndose aumentar eliminando todo o parte del CO₂ presente en el biogás. La producción total de gas depende fundamentalmente de la cantidad de alimento consumido por las bacterias o, dicho de otra forma, de la cantidad de sustrato eliminado en el proceso.

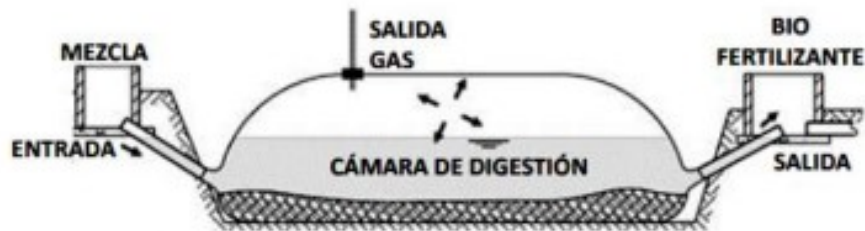
Puede ser utilizado en la cocción de alimentos, para la iluminación de viviendas, así como la alimentación de motores de combustión interna que accionan, maquinas herramientas, molinos de granos, generadores eléctricos, bombas de agua y vehículos agrícolas o de cualquier otro tipo.

Los biodigestores pueden diseñarse a diferentes escalas, según los objetivos y las posibilidades de los interesados, la cantidad de materia prima disponible como sustrato y las demandas energéticas de los beneficiarios.

La importancia de los biodigestores familiares no sólo se destaca por la generación de energía renovable y barata, sino que también beneficia a la salud familiar, porque el biogás no desprende humo al cocinar. Por otro lado, en la producción agropecuaria, el productor dispone de un fertilizante natural y ecológico que significa un aumento en el rendimiento de los cultivos, sean alfalfa, hortalizas, frutales, maíz, papa, café, cebolla, quinua, etc. Además del aumento de productividad, el biogás añade valor agregado ecológico a los productos, por ser cultivados libre de agroquímicos. De igual forma, los agricultores no gastan dinero en compra de fertilizantes químicos para sus cultivos.

Clases de Biogestores:

- Biodigestor tubular o de flujo pistón



La planta de balón se compone de un tubular en material plástico (polietileno, PVC, plastilina, entre otros, y una combinación de éstos) completamente sellado, la entrada y la salida están sujetas directamente a las paredes de la planta.⁶

La parte inferior de la planta, en un 75% del volumen constituye la masa de fermentación, y en la parte superior, el 25% restante, se almacena el biogás.

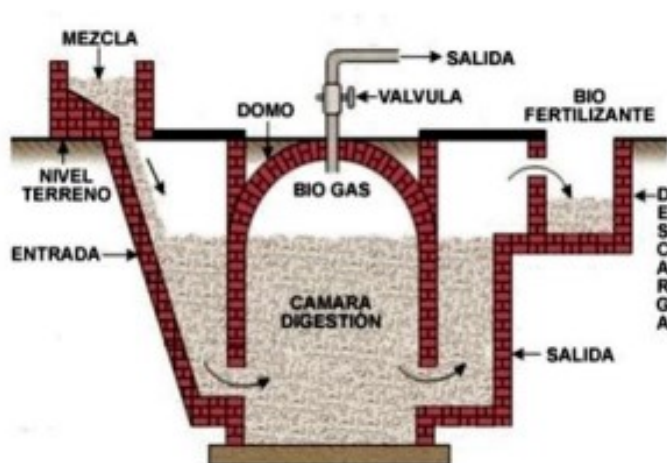
Este tipo de planta se recomienda para aquellos sitios donde predominan las temperaturas altas y constantes.

- **Ventajas:** Sus materiales de construcción son de fácil transporte e instalación. Por su construcción horizontal, resulta apropiado para sitios con nivel freático alto. Es el tipo de biodigestor de menor costo de construcción y operación.

- **Desventajas:** Las presiones alcanzadas por el gas son relativamente bajas. Presenta una vida útil corta, entre 3 y 8 años, dependiendo del material que se seleccione; Debe protegerse contra los rayos solares. El material plástico puede sufrir daños; siendo conveniente protegerlo o cerrar el área adyacente al biodigestor.

⁶ Biodigestor de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas (Botero & Preston 1986; Pedraza et al. 2002).

- **Biodigestor de campana fija:**



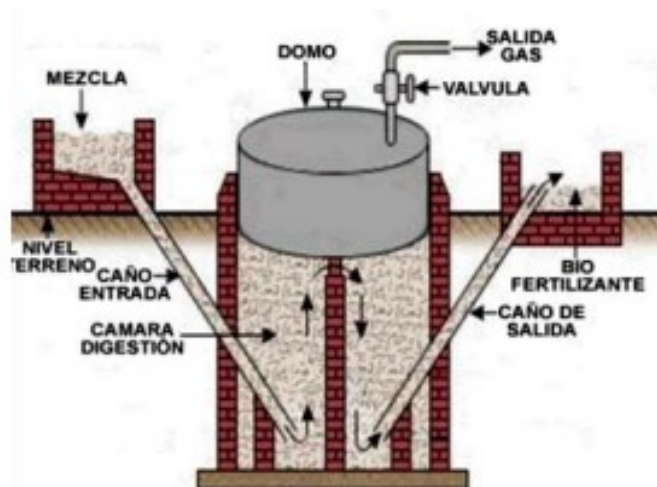
Se compone de un digestor construido en mampostería y un domo fijo e inmóvil cerrado donde se almacena el biogás. Durante la producción de biogás, la masa de fermentación es desplazada hacia el tanque de compensación y cuando se extrae el gas, la masa líquida vuelve hacia el biodigestor.

A través de constantes oscilaciones de la masa de fermentación en la parte superior de la cúpula se evita la formación de capa flotante (Vargas, 1992). Es conocido también como biodigestor Chino, y debido a que el gas debe ser liberado continuamente para reducir la presión interna, se utilizan en instalaciones donde el consumo sea continuo o para almacenar el biogás en un depósito aparte (Olaya, 2006).

- **Ventajas:** Tiene una larga vida útil, de aproximadamente 20 años; no posee partes móviles y/o metálicas que se puedan oxidar, aunque la construcción en concreto deberá ser durable. Su construcción es subterránea, lo cual lo protege contra bajas temperaturas (Hilbert, 2003). Presenta costos de construcción más bajos que el biodigestor de campana flotante tipo hindú.

- **Desventajas:** La presión de gas no es constante; y puede ser muy alta, por ello la cúpula tiene que ser cuidadosamente sellada e impermeabilizada para evitar porosidades, grietas y escapes de gas; y, (Hilbert, 2003).

- **Biodigestor de campana flotante:**



Se compone de un digestor construido en mampostería o estructura de concreto y un depósito de gas móvil en forma de campana, que puede flotar directamente en la masa de fermentación o en un anillo de agua, dependiendo de la producción de biogás.

La campana debe tener una guía que permita el movimiento vertical, cuya altura dependerá del volumen de gas almacenado (Vargas 1992).

Este tipo de biodigestor es conocido también como tipo hindú, y puede ser utilizado cuando se necesita de un abastecimiento continuo de biogás y fertilizante, caracterizándose por funcionar como depósito del gas producido, es decir, es el único tipo de biodigestores que tienen un depósito de biogás interior (Olaya 2006).

- **Ventajas:** La mampostería tiene una larga vida útil, en caso de usar estructuras de concreto, deberá protegerse este material a la corrosión producida por la materia orgánica y el gas. La presión de gas es constante; y es de fácil manejo.

- **Desventajas:** El costo de construcción de la campana puede resultar elevado, y si la campana es metálica puede corroerse, haciendo necesarios tratamientos especiales para su protección que incrementan la inversión inicial, operación y mantenimiento posterior. (Hilbert 2003).

Tiempo de retención hidráulico

Con este término se designa al volumen de sustrato orgánico cargado diariamente al digestor. Este valor tiene una relación de tipo inversa con el tiempo de retención, dado que a medida que se incrementa la carga volumétrica disminuye el tiempo de retención.

El tiempo de retención, junto con la velocidad de carga orgánica determinada por el tipo de sustrato, son los principales parámetros de diseño, definiendo el volumen del digestor. La materia orgánica o sólidos volátiles (SV) se refiere a la parte de la materia seca (MS) o sólidos totales (ST), que se volatilizan durante la incineración a temperaturas superiores a 550°C.

Los residuales de animales pueden tener un contenido de MS mayor del 10 % de la mezcla agua estiércol. Según los requerimientos operacionales para un reactor anaerobio, el contenido de MS no debe exceder el 10 % de la mezcla agua estiércol en la mayoría de los casos. Por eso, los residuales de granjas se deben diluir antes de ser tratados. La eficiencia de la producción de biogás se determina generalmente expresando el volumen de biogás producido por unidad de peso de MS o SV. La fermentación de biogás requiere un cierto rango de concentración de MS que es muy amplio, usualmente desde 1% al 30%.

La concentración óptima depende de la temperatura. Las bacterias requieren de un cierto tiempo para degradar la materia orgánica. La velocidad de degradación depende en gran parte de la temperatura; mientras mayor sea la temperatura, menor es el tiempo de retención o fermentación para obtener una buena producción de biogás. Si se toma como ejemplo típico el uso de estiércol de ganado, los TRH varían con la temperatura media de cada región, con la variación diaria estacional. (Tabla 1)

Tabla 1: Tiempo de retención Hidráulico⁷

| Tiempo de retención hidráulico | Características |
|--------------------------------|--|
| 30 – 40 días | Clima tropical con regiones planas. Ej. Indonesia, Venezuela, América Central. |
| 40 – 60 días | Regiones cálidas con inviernos fríos y cortos. Ej. India, Filipinas, Etiopía. |
| 60 – 90 días | Clima templado con inviernos fríos. Ej. China, Corea, Turquía |

Nivel de sólidos totales:

De acuerdo al nivel o contenido de ST del material (mezcla agua-biomasa), la tecnología de la digestión anaeróbica puede ser llamada húmeda o seca. Abbassi- Guendouz et al. (2012) la clasifica hasta en tres grupos distintos en función del porcentaje de ST contenido en la mezcla: proceso húmedo ($\leq 10\%$ ST), proceso semiseco (10-20% ST) y proceso seco ($\geq 20\%$ ST).

La tecnología de la digestión anaeróbica seca tiene la ventaja de que la cantidad de agua (algunas veces no disponible en grandes volúmenes) se ve sustancialmente reducida y, consecuentemente, se generan menos costos al minimizar el tamaño del digester.

Sin embargo, la digestión anaeróbica seca presenta desventajas, tanto a escala de laboratorio como industrial, relacionadas con la operación del sustrato dentro del digester y una baja producción de biogás con el incremento del porcentaje de ST.

Con respecto al manejo del sustrato, Moncayo (2013) afirma que mezclas de biomasa y agua con niveles de ST superiores al 15% son difíciles de bombear por las tuberías de alimentación al digester, además de ser difíciles de agitar, por lo que se requieren grandes cantidades de energía para agitar y lograr la homogeneidad de la mezcla dentro del digester.

⁷ <http://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf>

En lo que respecta a la producción de biogás, la movilidad de las bacterias metanogénicas se ve crecientemente afectada a medida que aumenta el contenido en sólidos del sustrato (alimentación muy concentrada), por lo que se va reduciendo la capacidad de degradación de éste debido a que se dificulta el acceso de las bacterias a su fuente de alimentación.

En cambio, si la alimentación es muy diluida, los microorganismos no tendrán el alimento suficiente para sobrevivir, y se puede dar la formación de una capa de espuma y escoria. Entonces, para mantener la una buena concentración de sólidos, la cantidad de agua y biomasa agregados deben escogerse adecuadamente. (Arrieta Palacios 2016).

Tipos de usos:

Según (Martínez Lozano, 2015) en un estudio realizado argumenta que el ganado porcino produce 4 Kg. de estiércol fresco por día por cabeza por lo que cada cerdo es capaz de producir 0,33 m³ de biogás útil al día, existen tres opciones empleadas para usar el biocombustible.

- La generación eléctrica: La conversión de la energía contenida en el biogás se hace a través de un moto generador alimentado por el biogás. La electricidad generada puede alimentar las instalaciones de la explotación agrícola o venderse a la red eléctrica general.

Son muchas las alternativas posibles para generar electricidad empleando el biogás como combustible: motores de combustión interna, celdas de combustible, turbinas de gas y de vapor, etc.

Debido a su autonomía y compatibilidad, se considera que la tecnología apropiada para los proyectos rurales de generación de electricidad con biogás es el empleo de motores alternativos de combustión interna. (Labiano Iradiel 2014).

- Uso directo como gas: El biogás es posible también emplearlo de manera directa en los vehículos y maquinaria adaptada para consumo de gas en lugar de gasolina.

- Solución mixta: Es posible optar por solución mixta, empleando parte del biogás para generar electricidad y otra parte utilizada de forma directa. La

descomposición de la materia orgánica en el proceso de digestión anaerobia se divide en 3 etapas, hidrólisis, acidogénesis, metanogénesis.

En cada una de las etapas de la descomposición anaeróbica actúan distintas bacterias, estas transforman la materia orgánica en diferentes compuestos como azúcares, ácidos grasos hasta llegar a un producto final como el metano.

La descomposición anaeróbica convierte los compuestos complejos en compuestos simples, dando como resultado final la liberación de una mezcla de gases.

La primera etapa es la hidrólisis de partículas y moléculas complejas (proteínas, carbohidratos y lípidos) que son hidrolizadas por enzimas extracelulares producidas por los microorganismos acidogénicos o fermentativos.

La etapa hidrolítica puede ser el proceso limitante de la velocidad global sobre todo cuando se tratan residuos con alto contenido de sólidos; la hidrólisis depende de la temperatura, del tiempo de retención hidráulico, de la composición bioquímica del sustrato, nivel de ph, de la concentración de metano. (FAO, 2011)

En la segunda etapa, controladas por bacterias consiste en la transformación de los compuestos formados en la primera etapa en otros compuestos de peso molecular intermedio; como dióxido de carbono, hidrogeno, ácidos, alcoholes alifáticos, metilamina, amoniaco y sulfhídrico.

En la metanogénesis es la parte final en el cual la formación de metano, es el último producto de la digestión anaerobia está limitado a tres tipos de precursores: CO_2 , compuesto que contengan un grupo metilo y acetato. Todos los metanogénos son estrictamente arqueas (Archea) anaerobias oxígeno sensibles. Cuando la metanogénesis es mediada por el CO_2 como precursor se denomina se denomina hidrogenotrófica o hidrogenófila y se utiliza H_2 como principal donador de electrones.

Aplicación del biogás:

- Para cocinar: Las cocinas y calentadores son fácilmente adaptables al uso de biogás como combustible, agrandando el paso del gas de los quemadores.

- **Iluminación:** Las lámparas a gas tienen una muy baja eficiencia y el ambiente donde se las utilice debe estar adecuadamente ventilado para disipar el calor que generan.

- **Refrigeración:** Las heladeras domésticas constituyen un interesante campo de aplicación directo del biogás debido a que tienen un consumo parejo y distribuido a lo largo de las 24 horas del día lo cual minimiza la necesidad de almacenaje del gas. Recientemente se han desarrollado equipos para el enfriamiento de leche y/u otros productos agrícolas lo que abre un importante campo de aplicación directa y rentable del mismo.

- **Calefacción:** Los quemadores infrarrojos comúnmente utilizados en la calefacción de ambientes (especialmente en criaderos y parideras) presentan como ventaja su alta eficiencia lo cual minimiza el consumo de gas para un determinado requerimiento térmico.

- **Motores de combustión interna y nafteros:** El biogás puede ser utilizado en motores de combustión interna tanto nafteros como diesel, tiene un octanaje que oscila entre 100 y 110 lo cual lo hace muy adecuado para su uso en motores de alta relación volumétrica de compresión, por otro lado una desventaja es su baja velocidad de encendido.

En los motores de Ciclo Otto el carburador convencional es reemplazado por un mezclador de gases. Estos motores son arrancados con nafta y luego siguen funcionando con un 100% de biogás con una merma de la potencia máxima del 20% al 30%. A los motores de Ciclo Diesel se les agrega un mezclador de gases con un sistema de control manteniendo el sistema de inyección convencional. De esta manera estos motores pueden funcionar con distintas proporciones de biogás diesel y pueden convertirse fácil y rápidamente de un combustible a otro lo cual los hace muy confiables.

El gasoil no puede ser reemplazado en los motores funcionando a campo del 85% al 90%, debido a que la autonomía conseguida menor comparada con la original. La proporción de H₂S en el biogás causa deterioros en las válvulas de admisión y de escape de determinados motores obligando a un cambio más frecuente de los aceites lubricantes. El grado de deterioro en los motores varía considerablemente y los resultados obtenidos experimentalmente suelen ser contradictorios. Los motores a biogás tienen amplio espectro de aplicación siendo los más usuales el

bombeo de agua, el picado de raciones y el funcionamiento de ordeñadoras en el área rural.

- Generadores de electricidad: El otro uso muy generalizado es su empleo para activar generadores de electricidad.

Ejemplos de la eficiencia de distintos artefactos usando biogás:

| Artefacto | Consumo | Rendimiento (%) |
|--------------------------|---|------------------|
| Quemador de cocina | 300 – 600 l / h | 50 – 60 |
| Lámpara a mantilla (60W) | 120 – 170 l / h | 30 – 50 |
| Heladera de 100 L | 30 -75 l / h | 20 – 30 |
| Motor a gas | 0,5 m ³ / kwh Hph | 25 – 30 |
| Quemador de 10 kW | 2 m ³ / h | 80 - 90 |
| Infrarrojo de 200 Kw | 30 l / h | 95 – 99 |
| Cogenerador | 1 kw electricidad 0,5 m ³ / kwh: 2 kw térmica | Hasta 90 |

Fuente: Manual de Producción de BIOGAS. INTA Castelar

Determinantes socio-economicos de la demanda de biogás:

El análisis a nivel microeconómico que se ha descripto no dará respuesta a preguntas de orden macroeconómico surgentes de una aplicación a mayor escala, dado que intervienen en la misma prioridad que en la asignación de recursos provenientes de fondos públicos, efectos sobre la balanza de pagos, etc.

Además mucho de los factores que determinarán el grado de aceptación de la nueva tecnología como facilidad de crédito y el servicio de asistencia técnica, formarán parte de una planificada política general.

La localización y enfoque de la investigación requerirá también de una macrovisión de esta tecnología. A pesar que son previsibles cambios tecnológicos de importancia en biogás en los próximos años (particularmente reducción de los costos de inversión inicial y aumento de la confiabilidad) es posible y necesario definir y describir las zonas, regiones o sectores desde el punto de vista social, económico y físico donde esta tecnología pueda tener éxito (o donde sea mínima la posibilidad de fracaso).

El resultado de estos estudios y la prevalencia de las zonas donde sea factible la tecnología propuesta dará una señal más clara para determinar la importancia del biogás en el desarrollo agropecuario y energético del país y su ubicación dentro de las políticas energéticas y de fertilización.

En base al marco de referencia dado por el análisis de costo-beneficio social se puede asumir que el biogás será viable en aquellas situaciones donde: sus insumos tengan un bajo costo de oportunidad, la eficiencia del sistema sea la “adecuada” y los productos generados tengan un alto costo de oportunidad.

- Insumos con bajo costo de oportunidad:

Se darán en los lugares que presenten las siguientes características:

➤ Zonas de producción tipo intensiva donde se concentre el sustrato o materia prima a emplear, debido a la factibilidad de manipulación y transporte de la misma.

➤ No haya restricciones de tipo social al manejo de los desechos y al aprovechamiento del estiércol.

➤ Exista una tradición, costumbre o metodología de recolección de los residuos.

➤ Se disponga de agua en forma, cantidad y calidad suficiente para alimentar los digestores.

➤ Se disponga de capital suficiente, con un bajo costo de oportunidad, por haberse cubierto las principales inversiones alternativas de alta rentabilidad o se disponga de créditos preferenciales.

➤ Exista disponibilidad de mano de obra con capacidad y voluntad para la operación de los digestores.

- Eficiencia del sistema:

Existe alta probabilidad de obtener rendimientos adecuados donde:

➤ Haya una seguridad de suministro constante en tipo y calidad de sustrato fermentable. Variaciones en el material a digerir complican el funcionamiento de los reactores.

➤ Se disponga de asistencia técnica para las etapas de diseño, puesta en marcha y mantenimiento del digestor.

➤ La temperatura ambiente no sea baja. Zonas de menor temperatura obligan a recurrir a sistemas de calefacción y aislación de un mayor costo, y dejan disponible una menor cantidad de energía.

➤ Se logre un adecuado diseño del digester, lo cuál permitirá un mejor manejo, un ahorro de tiempo de operación y un aumento en la confiabilidad.

➤ Se disponga de un adecuado servicio de mantenimiento.

- **Productos generados que tengan un alto costo de oportunidad:**

➤ Esta condición se dará en los lugares donde:

➤ Existe una limitante al libre acceso a los combustibles tradicionales.

➤ Existe una escasez en el medio convencional de obtención de energía, ej.: leña. No hay disponibilidad de dinero para satisfacer la demanda de energía y fertilizantes.

➤ Los tipos de tratamiento de los desechos debe ser realizado a altos costos.

➤ El costo de manipuleo de las materias primas y el efluente es bajo y competitivo. Las características del suelo son tales que se logran altas respuestas en el rendimiento de los cultivos ante aplicaciones de abonos.

A pesar que algunas de las características dadas pueden ser modificadas mediante políticas gubernamentales será relativamente fácil definir las áreas donde predominen estas situaciones en un relevamiento que debe ser realizado en las distintas zonas del país.

La política gubernamental será el factor determinante en la distribución y alcance de esta tecnología en las zonas preseleccionadas. El aporte del capital será uno de los factores de mayor incidencia en una primera etapa, junto a la disponibilidad de asistencia técnica.

Las características de dicha asistencia serán difíciles de determinar en forma precisa, pero se ha acumulado suficiente información de base en los países que encararon planes masivos de difusión como ser: China, India y Brasil entre otros.

Fases de producción de biogás:

1. Hidrólisis y fermentación: La materia orgánica es descompuesta por la acción de enzimas extracelulares (celulosa, amilasa, proteasa y lipasa) de un grupo de

bacterias hidrolíticas anaerobias que hidrolizan las largas cadenas de moléculas solubles en agua, como las grasas, proteínas y carbohidratos, transformándolos en monómeros y compuestos simples solubles.

Las bacterias involucradas en esta etapa son Bacterias hidrolíticas y fermentadoras.

2. Acidogénica, acetogénica y deshidrogenación: Los alcoholes, ácidos grasos y compuestos aromáticos (compuestos intermedios) se degradan produciendo ácido acético, CO₂ e hidrógeno que son los sustratos de las bacterias metanogénicas.

Las bacterias productoras de ácidos, involucradas en este paso, convierten los productos intermedios de las bacterias de fermentación en ácido Acético, Hidrógeno y Dióxido de Carbono. Estas bacterias son facultativamente anaeróbicas y pueden crecer en condiciones ácidas. Para producir ácido acético necesitan oxígeno y carbono, para esto utilizan el oxígeno disuelto en la solución.

Debido a esto, las bacterias productoras de ácido crean una condición anaeróbica que es fundamental para los microorganismos productores de metano. Además reducen los compuestos de bajo peso molecular a alcoholes, ácidos orgánicos, aminoácidos, CO₂, SH₂ y trazas de CH₄.

Las bacterias involucradas en esta etapa son:

- Bacterias acetogénicas obligadas reductoras de protones de hidrógeno (sintróficas)
- Bacterias homoacetogénicas;

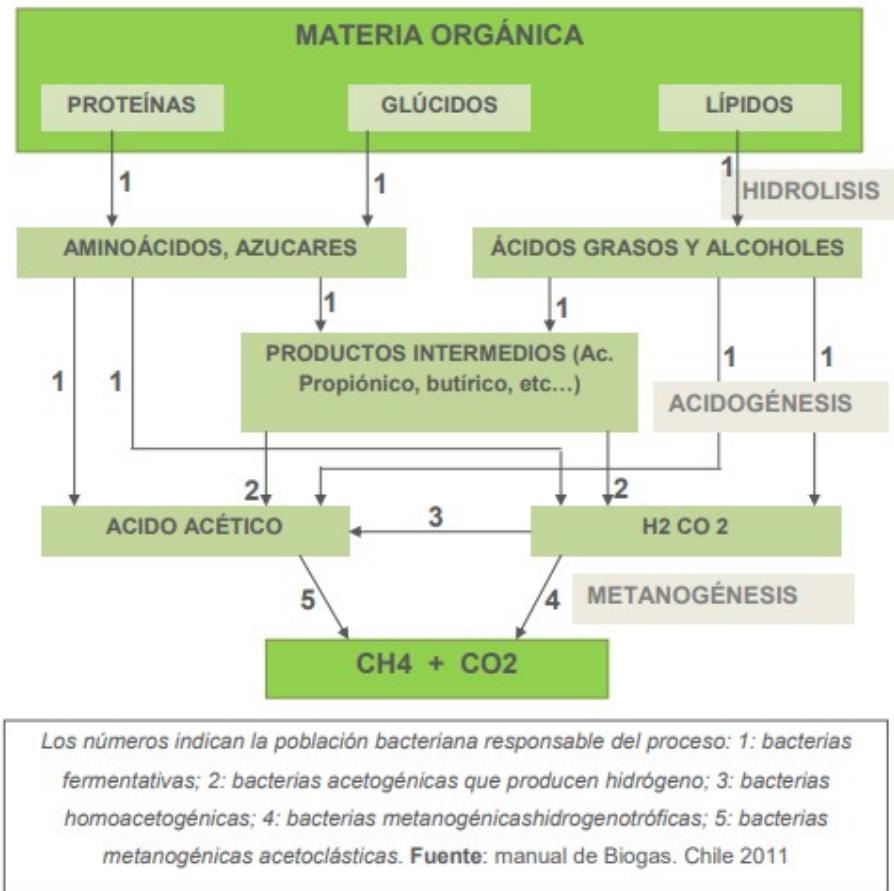
3. Metanogénica: En esta etapa, gracias a la actividad de bacterias metanogénicas, se produce metano a partir de compuestos de bajo peso molecular, como el CO₂, el hidrógeno y el ácido acético obtenidos de la etapa anterior. La concentración de hidrógeno juega un papel fundamental en la regulación del flujo del carbono en la biodigestión.

En condiciones naturales, las bacterias que producen metano, ocurren en la medida que se proporcionen condiciones anaerobias, por ejemplo bajo en agua (como en los sedimentos marinos), en los estómagos de rumiantes y en pantanos. Son obligatoriamente anaerobias y muy sensibles a cambios

ambientales; pertenecen al grupo de las arqueas, y se diferencian de las bacterias acidogénicas fundamentalmente por la estructura de su pared.

Las bacterias involucradas en esta etapa son Bacterias metanogénicas anaeróbicas obligadas.

Se divide en tres fases, que se explican en el siguiente gráfico:



Factores que influyen en el proceso del biogás:

- **Tipo y concentración de sustrato (nutrientes disponibles)**

Existen varios tipos de nutrientes disponibles (Tabla 2):

- Residuos vegetales, de cosechas y de poda
- Residuos de origen animal.
- Deyecciones ganaderas
- Residuos de origen humano.

- Aguas residuales orgánicas agroindustriales (producción de alcohol, procesado de frutas, verduras, lácteos, carnes, alimenticias en general)
- Efluentes de determinadas industrias químicas
- Mantillo forestal
- Plantas acuáticas

Tabla 2: Potencial de biogás de distintos sustratos

| Sustrato | Materia seca | Biogas | Metano | Electricidad (35%) | Calor (50%) |
|------------------------|--------------|---------|--------|--------------------|-------------|
| | [%] | [m3/MF] | [%] | [kwh el./t] | [kwh t./t] |
| Purin porcino | 6 | 20 | 60 | 42 | 59 |
| Lacto suero | 8,5 | 58,5 | 53 | 109 | 154 |
| Pulpa de papa | 19 | 108 | 50 | 189 | 268 |
| Contenido estomacal | 15 | 60 | 55 | 116 | 164 |
| Grasas de matadero | 28 | 266 | 67 | 618 | 883 |
| Desechos de pastelería | 88 | 650 | 53 | 1195 | 1707 |

Fuente: BIOGAS 3. Webinar. Paz Gómez. AINIA

El proceso microbiológico no sólo requiere fuentes de carbono y nitrógeno sino también sales minerales (azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, molibdeno, zinc, cobalto, selenio, tungsteno, níquel y otros menores).

Generalmente la materia orgánica como los estiércoles y lodos cloacales presentan dichos elementos en proporciones adecuadas. Sin embargo cuando se emplean ciertos desechos industriales puede ser necesaria la adición de los compuestos enumerados o bien un post tratamiento aeróbico.

Las sustancias con alto contenido de lignina, como los residuos de poda, no son directamente aprovechables y por lo tanto deben someterse a tratamientos previos (cortado, macerado, compostado) a fin de liberar las sustancias factibles de ser transformadas de las incrustaciones de lignina.

En lo que refiere a estiércoles animales, la degradación de cada uno de ellos dependerá fundamentalmente del tipo de animal y la alimentación que haya

recibido. Los valores tanto de producción como de rendimiento en gas de los estiércoles presentan grandes diferencias entre distintos autores. Esto es debido al sinnúmero de factores intervinientes que hacen difícil la comparación de resultados, por lo tanto los valores sólo son orientativos.

El volumen de estiércol producido por distintas especies animales, es variable de acuerdo fundamentalmente al peso, tipo de alimentación y manejo de los mismos. (Tabla 3)

Tabla 3: Volumen de estiércol producido y potencial de rendimiento

| Especie | Peso vivo | Kg estiércol/día | l/kg S.V. | % CH ₄ |
|----------|-----------|------------------|-----------|-------------------|
| Cerdos | 50 | 4,5 - 6 | 340 – 550 | 65 – 70 |
| Vacunos | 400 | 25 -40 | 90 – 310 | 65 |
| Equinos | 450 | 12 – 16 | 200 – 300 | 65 |
| Ovinos | 45 | 2,5 | 90 – 310 | 63 |
| Aves | 1,5 | 0,06 | 310 – 620 | 60 |
| Caprinos | 40 | 1,5 | 110 - 290 | ---- |

Fuente: Manual de Producción de Biogás. INTA Castelar

- Contenido de sólidos

Existen varias partes de los residuos que nos permiten producir biogás.

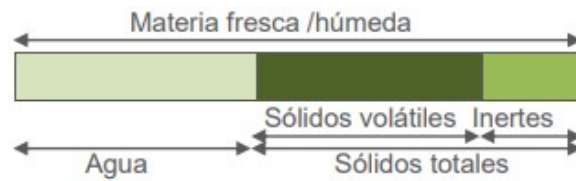
Sólidos totales: toda la materia, orgánica e inorgánica, que queda como residuo después de la evaporación del agua a 105°C.



Importancia en la digestión anaerobia:

- Humedad adecuada para el desarrollo del proceso biológico
- Aspectos hidráulicos: bombeo, agitación, etc.

Sólidos volátiles: materias, generalmente orgánicas, que pueden separarse de una muestra por calcinación (550°C), y dejan residuos sólidos inorgánicos no volátiles (cenizas).



Importancia en la Digestión anaerobia:

- Parámetro que cuantifica la cantidad de materia orgánica disponible para los microorganismos y por tanto susceptible de ser transformada en BIOGAS.
- Control del proceso continuo: para evitar sobrecargas orgánicas.

Con el aumento de contenido de sólidos en la mezcla a digerir, la movilidad de las bacterias puede verse disminuida, y por lo tanto, afectada la producción de biogás.

Pero en este punto tampoco existen reglas fijas; mediciones realizadas utilizando mezclas de estiércoles animales en agua han determinado que para digestores continuos el porcentaje óptimo de sólidos oscila entre el 8% y el 12%.

La Agitación es importante para establecer un mejor contacto de las bacterias con el sustrato.

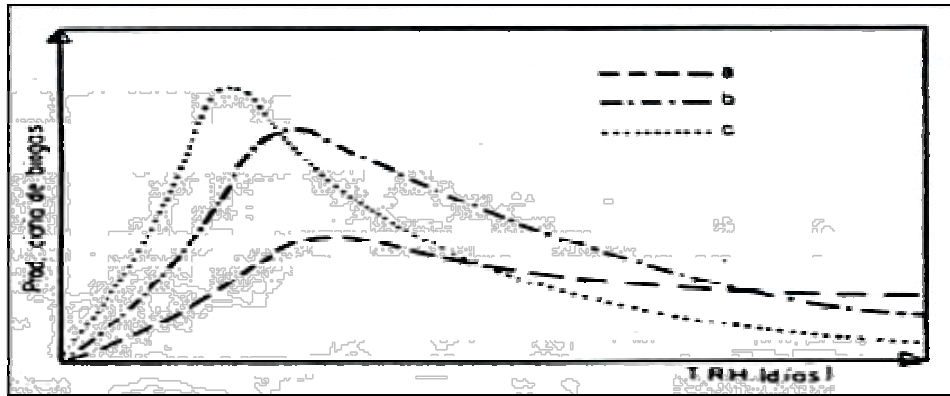
- **Tiempo de retención hidráulica. (TRH)**

En los digestores continuos y semi continuos, el TRH se define como el valor en días del cociente entre el volumen del digestor y el volumen de carga diaria. Está en relación con dos factores: tipo de sustrato y temperatura del mismo.

Con relación al tipo de sustrato, generalmente los materiales con alta proporción de carbono en moléculas resistentes como celulosa y lignina demandarán mayores TRH para digerirse.

En la Figura N° 1 se observa la relación entre el TRH y la producción diaria de gas en sustratos con distintas proporciones de celulosa.

Figura 1: Producción diaria de biogás y TRH de diferentes sustratos



Referencias: a) Pasto verde; b) Estiércol vacuno; c) Paja

Algunos ejemplos de TRH son:

| MATERIA PRIMA | T.R.H. |
|---------------------------|--------------|
| Estiércol vacuno líquido | 20 - 30 días |
| Estiércol porcino líquido | 15 - 25 días |
| Estiércol aviar líquido | 20 - 40 días |

El límite de los TRH está dado por la tasa de reproducción de las bacterias metanogénicas debido a que la continua salida de efluente del digestor extrae una determinada cantidad de bacterias que se encuentran en el líquido, la cual debe ser compensada por la multiplicación de las bacterias presentes dentro del reactor.

- **Velocidad de carga volumétrica:**

Es el volumen de sustrato orgánico cargado diariamente al digestor; está en relación inversa con el Tiempo de Retención Hidráulica TRH, ya que a medida que se incrementa la carga volumétrica, éste disminuye.

Se expresa de distintas formas, pero las más usuales son: kg de material/día; kg de materia seca/día; kg de sólidos volátiles/día; todos expresados por metro cúbico de digestor.

Las cantidades de sólidos totales se obtienen sometiendo el sustrato a desecación a 105°C hasta peso constante y extrayendo el siguiente coeficiente: (peso húmedo - peso seco) / peso húmedo.

El porcentaje de sólidos volátiles se obtiene sometiendo la muestra seca a la mufla, 560°C durante tres horas y extrayendo el siguiente coeficiente: $1 - \frac{(\text{peso seco} - \text{peso ceniza})}{\text{peso seco}}$.

Un factor importante a tener en cuenta en este parámetro es la dilución utilizada, debido a que una misma cantidad de material degradable podrá ser cargado con diferentes volúmenes de agua.

- **Cálculo de la alimentación diaria:**

- A partir del día en que se alcance la máxima producción de biogás con la mezcla estiércol-agua cargado en el biodigestor al inicio; el cual se estima en clima cálido en 30 días y en clima frío en 50 días; se deberá alimentar diariamente el biodigestor.
- Asumiendo un TRH de 45 días, calculamos la cantidad de mezcla estiércol - agua que se debe alimentar diariamente al biodigestor a partir del día 46: $9 \text{ m}^3 / 45 \text{ días} = 0.2 \text{ m}^3/\text{día} = 200 \text{ L}/\text{día} = 1 \text{ cilindro}/\text{día}$.
- La mezcla estiércol-agua se preparará en proporción (1:5)

Ejemplo: Un Biodigestor de tamaño promedio para una familia rural tiene un volumen total de 7,2 m³, con una fase líquida de 5,1 m³ (75 % del total de la capacidad) y 1,8 m³ para el almacenamiento del biogás (25 % del total de su capacidad).

EL BDP recibe una carga diaria de 21,6 kg de excrementos frescos mezclados con 86,4 kg de agua. Esto representa una carga anual de 7885 kg de excrementos frescos y 31536 kg de agua.

Ocho cerdos adultos o una vaca lechera adulta (confinada a tiempo completo) pueden producir la cantidad necesaria por día (Botero y Preston, 1986).

- **Temperatura del sustrato:**

Para dar comienzo al proceso de producción de BIOGAS es necesario una temperatura mínima de 4° a 5° C, y debe mantenerse sin sobrepasar los 70°C.

Se diferencian tres rangos de temperatura de acuerdo al tipo de bacterias que predominan en cada uno. (Tabla 4)

Tabla 4: Clasificación de las bacterias por sus rangos de temperaturas de crecimiento.

| Bacterias | Rango de Temperaturas | Sensibilidad |
|---------------|-----------------------|------------------|
| Psicrofílicas | menos de 20°C | +/- 2°C / hora |
| Mesofílicas | entre 20°C y 40°C | +/- 1°C / hora |
| Termofílicas | más de 40°C | +/- 0,5°C / hora |

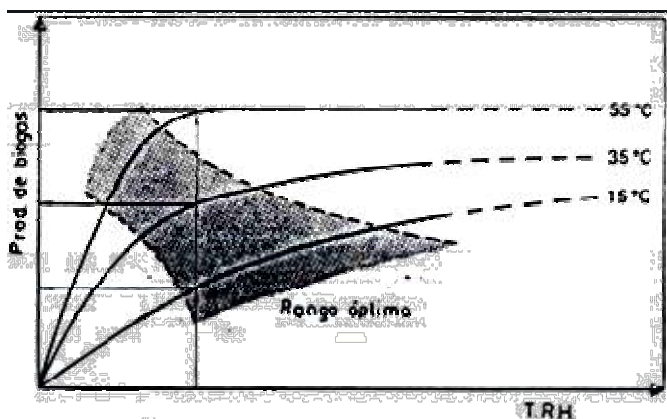
La actividad biológica y por lo tanto la producción de gas aumenta con la temperatura. Un aspecto importante a considerar es que el proceso por sí mismo no genera altas temperaturas, por lo cual ésta debe lograrse y mantenerse mediante energía exterior.

El cuidado en el mantenimiento también debe extremarse a medida que aumentamos la temperatura, dada la mayor sensibilidad que presentan las bacterias termofílicas a las pequeñas variaciones térmicas. Todas estas consideraciones deben ser evaluadas antes de elegir un determinado rango de temperaturas para el funcionamiento de un digestor ya que a pesar de incrementarse la eficiencia y producción de gas, paralelamente aumentarán los costos de instalación y la complejidad de la misma.

Los digestores que trabajan a temperaturas meso y termofílicas poseen generalmente sistemas de calefacción, aislación y control; los cuales son obviados en digestores rurales económicos que trabajan a bajas temperaturas. La temperatura está íntimamente relacionada con los tiempos que debe permanecer la biomasa dentro del digestor para completar su degradación (Tiempo de retención Hidráulica, TRH).

A medida que se aumenta la temperatura disminuyen los tiempos de retención y en consecuencia se necesitará un menor volumen de reactor para digerir una misma cantidad de biomasa. (Figura 2)

Figura 2: Tiempo de retención (TRH) y rendimiento de biogás según temperatura del proceso.



Fuente: Manual de BIOGAS. Minenergía/PNUD/FAO/GEF. Chile 2011

- Relación carbono / nitrógeno:

La relación óptima de C / N es de 30:1, cuando la relación es muy estrecha (10:1) hay pérdidas de Nitrógeno asimilable, lo cual reduce la calidad del material digerido. Si la relación es muy amplia (40:1) se inhibe el crecimiento de las bacterias debido a falta de Nitrógeno.

Características de las bacterias metanogénicas:

- Son muy sensibles al oxígeno y a los óxidos.
- Sólo pueden usar como sustrato los compuestos orgánicos e inorgánicos más sencillos.
- Crecen con bastante lentitud.
- Cuando el contenido de oxígeno, en el sustrato de fermentación llega a 0.8 ml., se retardará su crecimiento.

- Acidez:

En digestores operados con estiércol de bovino, los valores óptimos de operación oscilan entre 6.7 y 7.5 con límites de 6.5 a 8.0 (5).

Una vez estabilizado el proceso fermentativo, el pH se mantiene en valores que oscilan entre 7 y 8.

Debido al efecto buffer que producen los compuestos bicarbonato-dióxido de carbono (CO_2 - HCO_3) y Amonio - Amoníaco (NH_4 - NH_3) el proceso en sí mismo tiene capacidad de regular diferencias en el pH del material de entrada. (Cornejo Ramirez, E. 2012)

Para la fermentación anaerobia el pH debe ser neutro.

- Si el pH > 8 la carga corre riesgo de putrefacción.
- Si el pH < 6 indica descompensación entre fase ácida y metanogénica, pudiendo bloquearse la producción de metano.

Las bacterias metanogénicas trabajan óptimamente en los siguientes rangos:

- Alcalinidad: 1500 – 5000 mg/l : CaCO₃
- Valor ph: 6,5 – 7,5 (óptimo)
- Ácidos volátiles: 600 – 1500 mg /l

- **Agentes promotores e inhibidores del proceso:**

Los agentes promotores fomentan la degradación de la materia orgánica y aumentan la producción de biogás; entre ellos, cuentan varias enzimas, sales inorgánicas; el agregado de urea, que acelera la producción de metano; el Carbonato de Calcio, que aumenta la generación de gas y puede acrecentar el contenido de metano en el gas.

Por otro lado, concentraciones elevadas de ácidos, amoníaco y nitrógeno, sales minerales, iones metálicos y algunas sustancias orgánicas como detergentes, desinfectantes y agro químicos ,aparte del oxígeno; inhiben la actividad de las bacterias metanogénicas.

La fase metanogénica también es inhibida por varias sustancias tóxicas, como los metales pesados, el cadmio, el cobre, el cromo, el níquel, el plomo y el zinc.

Cuando se considera la alimentación de un digestor debe tenerse en cuenta que añadir en exceso un sustrato también puede inhibir el proceso de digestión porque cualquier constituyente de un sustrato puede tener un efecto dañino en las bacterias si su concentración es demasiada alta.

Esto aplica en particular a sustancias como los antibióticos, desinfectantes, solventes, herbicidas, sales y metales pesados que en cantidades incluso pequeñas pueden inhibir el proceso de descomposición.

La introducción de antibióticos generalmente se atribuye a la adición de bosta agrícola o grasas animales, aunque el efecto inhibitorio de los antibióticos específicos varía mucho.

Algunos oligoelementos esenciales para el desarrollo de las poblaciones bacterianas en las distintas fases del proceso, pueden también ser tóxicos para los microorganismos si están presentes en concentraciones excesivamente altas.

Sin embargo, como los microorganismos son capaces de adaptarse a dichas sustancias hasta cierto grado, es difícil determinar la concentración en la cual una sustancia se torna dañina.

Algunos compuestos sólo resultan inhibidores cuando actúan con otras sustancias. Por ejemplo, los metales pesados sólo tienen un impacto dañino sobre el proceso de digestión si están presentes en solución.

De cualquier manera, están enlazados por el sulfuro de hidrógeno, que se forma también en el proceso de digestión, y se precipitan como sulfuros poco solubles. Debido a que el SH_2 se forma casi siempre durante la fermentación del metano, no se espera generalmente que los metales pesados perturben el proceso.

Sin embargo, esto no es igualmente válido para los compuestos de cobre, que son tóxicos incluso en concentraciones muy bajas (40-50 mg / l) debido a su efecto antibacteriano. En los establecimientos agrícolas pueden entrar en el ciclo de producción por la desinfección de las instalaciones de los animales, por ejemplo.

En el transcurso de la fermentación, se forma toda una gama de sustancias capaces de inhibir el proceso, pero la gran adaptabilidad de las bacterias no permite establecer límites absolutos aplicables universalmente.

En particular, incluso las bajas concentraciones de amoníaco libre (NH_3) tienen un impacto dañino sobre las bacterias. Este amoníaco libre está en equilibrio con la concentración de amonio (NH_4^+) (el amoníaco reacciona con el agua para formar amonio y un ión de OH^- y viceversa).

Esto significa que con un valor de pH cada vez más alcalino, es decir, a medida se eleva la concentración de iones OH^- , el equilibrio cambia y la concentración de amoníaco se incrementa. Una elevación del valor de pH de 6,5 a 8,0, ocasiona un incremento de 30 veces de la concentración de amoníaco libre. Una elevación en la temperatura dentro del digestor resulta también en un cambio en el equilibrio en la dirección del amoníaco con su efecto inhibidor.

Para un sistema de digestión que no está adaptado a las altas concentraciones de nitrógeno, el umbral de inhibición cae en un rango de 80 a 250 mg/l NH₃. Dependiendo del valor de pH y de la temperatura de la digestión, esto es equivalente a una concentración de amonio de 1,7-4 g/l.

La experiencia muestra que la inhibición del nitrógeno del proceso de biogás puede esperarse a una concentración total de nitrógeno amoniacal de 3000-3,500 mg/l.

Otro producto del proceso de digestión es el sulfuro de hidrógeno (H₂S), que cuando está disuelto y no disociado puede inhibir el proceso de descomposición en forma de citotoxina en concentraciones de apenas 50 mg/l.

A medida que cae el valor de pH, la proporción de H₂S libre se eleva, incrementando el riesgo de inhibición. Una manera posible de reducir la concentración de H₂S es mediante la precipitación como sulfuros con ayuda de iones de hierro.

El H₂S también reacciona con otros metales pesados y es enlazado y sale en forma de precipitado acompañado por la formación de iones de sulfuros (S²⁻). Sin embargo, como se mencionó previamente, el azufre también es un macronutriente importante.

Como se necesita una concentración adecuada de azufre para la formación de enzimas, la precipitación excesiva en la forma de sulfuros puede, a su vez, inhibir la metanogénesis.

El efecto inhibitorio de una sustancia dada depende entonces de una serie de factores distintos y es difícil definir valores límites fijos. La Tabla 4. muestra una lista de varios inhibidores comunes.

Tabla 4: Concentración inhibidora de inhibidores comunes

| Inhibidores | Concentración inhibidora |
|--|--------------------------|
| SO ₄ | 5000 ppm |
| NaCl | 40000 ppm |
| Nitrato (según contenido de Nitrógeno) | 0,05 mg/l |
| Cu | 100 mg/l |
| Cr | 200 mg./l |
| Ni | 200- 500 mg./l |
| CN | 25 mg./l |
| Detergente sintético | [20-40 mg./l] |
| Na | [3500-5500 mg./l] |
| K | [2500-4500 mg./l] |
| Ca | [2500-4500 mg./l] |
| Mg | [1000-1500 mg./l] |

Fuente: Manual de BIOGAS. Minenergía/PNUD/FAO/GEF. Chile 2011

- Agitación:

La agitación del biodigestor es un factor importante, ya que distribuye el sustrato por todo el sistema ayudando a que las bacterias entren en contacto con el mismo; lo cual favorece una mayor y más rápida digestión de la biomasa, acortando los tiempos de retención hidráulica, y acelerando en consecuencia los tiempos de producción de biogás.

Conclusiones

La intensificación de la producción ganadera aumenta la generación de estiércol, lo cual origina una gran cantidad de nutrientes desechados y concentrados en un área pequeña.

Frente a los conocidos múltiples impactos o efectos sociales y ambientales del avance de los cultivos energéticos, principalmente sobre los recursos naturales suelo, agua, bosques, etc., es imperioso revisar las condiciones de sustentabilidad ambiental y social de la introducción de biocombustibles en la composición de los combustibles fósiles.

Precisamente, por los riesgos ambientales y sociales de la expansión agrícola que demanda su producción.

En otras palabras, si bien entendemos que las fuentes de combustible de origen biológico pueden constituir un paliativo a la crisis energética, a la hora de crear regímenes promocionales y de fomento de tales actividades, no debe soslayarse desde el punto de vista ambiental, el análisis del real aporte de los biocombustibles líquidos a los fines de la mitigación del cambio climático y, desde el punto de vista del balance energético, la determinación de su verdadera contribución como alternativa energética, con la debida discriminación de las distintas variantes bioenergéticas y de sus efectos.

Una alternativa viable para disminuir el impacto ambiental negativo de las excretas ganaderas es generar biogás, pero los costos de los equipos para capturar y utilizar este gas para generar electricidad son altos todavía.

En EE.UU. y Canadá, la implementación y el cumplimiento de marcos regulatorios específicos sobre manejo y aplicación de excretas ganaderas, ofrecen múltiples beneficios ambientales a largo plazo, ya sea por el menor impacto ambiental, la generación de energía o por la participación en el mercado de bonos de carbono.

La normativa de esta índole en Argentina, Chile, Colombia y México aun carece de estímulos por las buenas prácticas en el manejo de excretas ganaderas; por tanto, los gobiernos deben responsabilizarse de la monitorización periódica en los sistemas ganaderos para controlar las descargas excedentes de contaminantes al

ambiente y a los recursos naturales, y además deben promover las compensaciones por bonos de carbono.

El proyecto de implementación de los Biodigestores para producción de Biogás y aprovechamiento de las cualidades fertilizantes y fitoregulatoras del efluente obtenido como subproducto, constituye un verdadero desafío para los sectores rurales en la Argentina.

El desconocimiento generalizado, la escasa de regulación de muchos de los aspectos involucrados y/o la falta de implementación de las regulaciones vigentes, hacen difícil la puesta en práctica masiva de estas tecnologías; que son de fácil acceso, bajo costo de instalación y mantenimiento sencillo.

Entendemos que el uso de estas tecnologías contribuirá a mejorar la calidad de vida de la población rural; ya que plantea el manejo adecuado de los residuos humanos, animales y vegetales, mediante acciones sostenibles y acordes al equilibrio ecológico.

Por otro lado, los biodigestores mejorarán las explotaciones de pequeña escala, facilitando el control de la contaminación, y añadiendo valor agregado a la excreta del ganado y humano, mediante la producción de Biogás y el aprovechamiento del efluente como fertilizante.

Recomendaciones:

Para investigaciones posteriores se recomienda considerar los residuos orgánicos producto de los desechos de viviendas durante el día, de tal manera que exista un gran porcentaje de biomasa para degradar.

La autoridad de aplicación para la certificación y control de los artefactos a biogás debería ser la dependencia que indique la Secretaría de Gobierno de Energía ya que, en estos casos, la aprobación/homologación de las instalaciones de producción y uso de biogás se encuentra fuera del ámbito de control de las empresas licenciatarias y del ENARGAS.

En cuanto a la normativa técnica que se requiere para la certificación de estos dispositivos, el ENARGAS tiene competencia para incluir los artefactos a biogás dentro de la clasificación general de artefactos de la NAG-301 (2006), a fin de determinar las condiciones mínimas que deben observar los fabricantes, instaladores y certificadores.

La aplicación de esta tecnología deberá adaptarse a las condiciones locales y regionales, y su éxito dependerá de varios factores del lugar, como recursos económicos disponibles, materiales de construcción y mano de obra, disponibilidad de combustible tradicional, disponibilidad de estiércoles, restos vegetales y de la industria de los alimentos en general; utilización de los productos finales, área disponible, posibilidades de acopio y traslado de estos residuos; la idiosincrasia, la aceptación y la capacidad de introducir y modificar la tecnología para adaptarla a las posibilidades y necesidades locales.

Por último, a todos estos factores condicionantes, debe sumarse las posibilidades de acceso a líneas de crédito y a servicio de asistencia técnica; que deberán formar parte de una planificación política general.

Bibliografía:

- Asociación de Distribuidores de Electricidad de la República Argentina (<http://www.adeera.com.ar/>)
- Asociación de Transportistas de Electricidad de la República Argentina (<http://www.ateera.org.ar/>)
- Biodigestor de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas - R Botero, T Preston - Manual para su instalación, operación y utilización. 1987
- Botero, R. y T. R. Preston, 1987. "Biodigestor de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas. Manual para su instalación, operación y utilización". Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV), Cali, Colombia
- Buhigas, A. 2010: "Sistema biodigestor para el tratamiento de desechos orgánicos". Universidad Carlos III de Madrid. Escuela Politécnica Superior-Departamento de Ciencia e Ingeniería de Materiales e Ingeniería Química. Nicaragua, 2010.
- Capulin, G. J., E. R. Nuñez, B. J. Etchevers, y C. G. Baca. 2001. Evaluación del extracto líquido de estiércol bovino como insumo de nutrición vegetal en hidroponía. *Agrociencia* 35: 287-299
- Cornejo Ramirez, E. 2012. "Producción de Biogas a nivel de laboratorio, utilizando estiércol de ganado vacuno y residuos agroindustriales (Torta de Piñón, Cascarrilla de Arroz y Rumen de Gando Vacuno)". Universidad Nacional de San Martín E.E.A. EL PORVENIR - DISTRITO DE JUAN GUERRA". PERÚ
- Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico (<http://www.cammesa.com.ar/>)
- EBA. 2014. Biogas Report 2014 – Reporte de Biogás 2014. European Biogas Association (<http://european-biogas.eu/wp-content/uploads/2014/12/Biogas-graph-2013.png>).
- ENARGAS. Normativa. Buenos Aires. Ente Nacional Regulador del Gas (<http://www.enargas.gov.ar/secciones/normativa/normas-tecnicas-items>)
- Federación Argentina de Trabajadores de Luz y Fuerza (www.fatlyf.org.ar)
- FNR. 2010. Guía sobre el biogás: desde la producción hasta el uso. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. Gobierno de Francia. 2009.

Prescriptions générales applicables aux installations classées de méthanisation soumises à déclaration sous la rubrique 2781-1

- Gomez, P. 2015, "Producción Sostenible de Biogas a pequeña escala a partir de residuos de la agroindustria, para el autoabastecimiento energético". BIOGAS . 3. Programa de la Unión Europea WEBINAR. AINIA
- "Guía sobre el Biogás. Desde la producción hasta el uso". 2010 Publicado por Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) con el apoyo del Ministerio Federal de Alimentación, Agricultura y Protección al Consumidor en base a una decisión del Parlamento de la República Federal Alemana.
- Hilbert, J. "Manual para la producción de biogás". Instituto de ingeniería Rural INTA - Castelar
- Hilbert, J.A.; 2003. "Manual para la producción de biogás. Instituto de Ingeniería Rural", Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria – INTA. Buenos Aires, 57p
- INTI. Oferta tecnológica. Clasificación de servicios. Buenos Aires. Instituto Nacional de Tecnología Industrial (<http://www.inti.gov.ar/oferta>)
- Mandujano M. I., Félix A. y Martínez A. M., 1981 "Biogás, Energía y fertilizantes a partir de desechos orgánicos, Manual para el promotor de la tecnología". México
- "Manual de Biogas". Mineregía /PNUD/FAO/GEF. Chile 2011. ISBN 978-95-306892-0
- McCaskey, A.T., 1990. "Microbiological and chemical pollution potential of swine waste". Memorias del Primer Ciclo Internacional de Conferencias sobre Manejo y Aprovechamiento de Estiércol. CINVESTAV. Guadalajara, Jal., México
- Massé, D. I., G. Talbot, and Y. Gilbert. 2011. On farm biogas production: A method to reduce GHG emissions and develop more sustainable livestock operations. Anim. Feed Sci. Technol. 166-167: 436-445.
- Nicholson, S. S. 2007. Nitrate and nitrite accumulating plants. *In*: Gupta, R. C. (ed). Veterinary Toxicology, Basic and Clinical Principles. Elsevier Ltd, Netherlands. pp: 876-879.
- Olaya, Y.; 2006. "Diseño de un biodigestor de cúpula fija". Trabajo de Grado (Ingeniero Agrícola). Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Palmira.

- Pedraza, G. et al 2002. "Evaluación de los biodigestores en geomembrana (PVC) y plástico de invernadero en clima medio para el tratamiento de aguas residuales de origen porcino". Fundación Centro de Investigaciones en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria – CIPAV. Cali.
- Pérez, R. 2001. Porcinocultura y contaminación del agua en la Piedad, Michoacán, México. Rev. Int. Contaminación Ambiental 17(1): 5-13.
- Requisitos generales para plantas de biogás que tengan como sustrato materias vegetales crudas, estiércol, residuos de materias vegetales e industrias alimentarias. (<https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000021334587>).
- Reglamento de seguridad de las plantas de biogás. Santiago (http://www.minenergia.cl/archivos_bajar/ucom/reglamentos/RT/DS_119_Publicado.pdf).
- SEMARNAT. 2010. Especificaciones técnicas para el diseño y construcción de biodigestores en México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales - Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (disponible en <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/CD001057.pdf>).
- Toala Moreira, Edwin Eyner. «diseño de un biodigestor de polietileno para la obtención de biogas a partir del estiércol de ganado en el rancho veronica.» Riobamba, 2013.
- Varnero, Maria Teresa. «Manual de biogas.» Chile, 2011.
- Vargas, L.; 1992." Los biodigestores, alternativa de tratamiento para residuos pecuarios". Tesis (Ingeniero Sanitario). Universidad del Valle, Santiago de Cali.
- Zuñiga, I. 2007: "Biodigestores" Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería. México 2007.