

El biogas como alternativa energética

Mg Federico Molina
Mg Eugenio Quaia



Biogas en la Industria Citrícola:
anexo multimedia disponible en la
versión digital de la revista
www.eaac.org.ar/publicaciones

Volver a la vida

Desde el movimiento muscular de cada latido del corazón hasta el chorro impulsor de los cohetes interplanetarios, todas las actividades humanas requieren del consumo de determinadas cantidades de energía, extraíble de distintas fuentes. Nuestra vida sobre el planeta está indisolublemente ligada a esa ley general de la naturaleza: en todos los casos, todos los organismos vivos basan su existencia en los procesos mediante los cuales cada especie, a su manera, transforma elementos provistos por el ambiente en la energía necesaria para poner en movimiento su maquinaria biológica, crear así su propia masa corporal y mantener en actividad esos mismos procesos, indispensables a la vez para su crecimiento y su sostén.

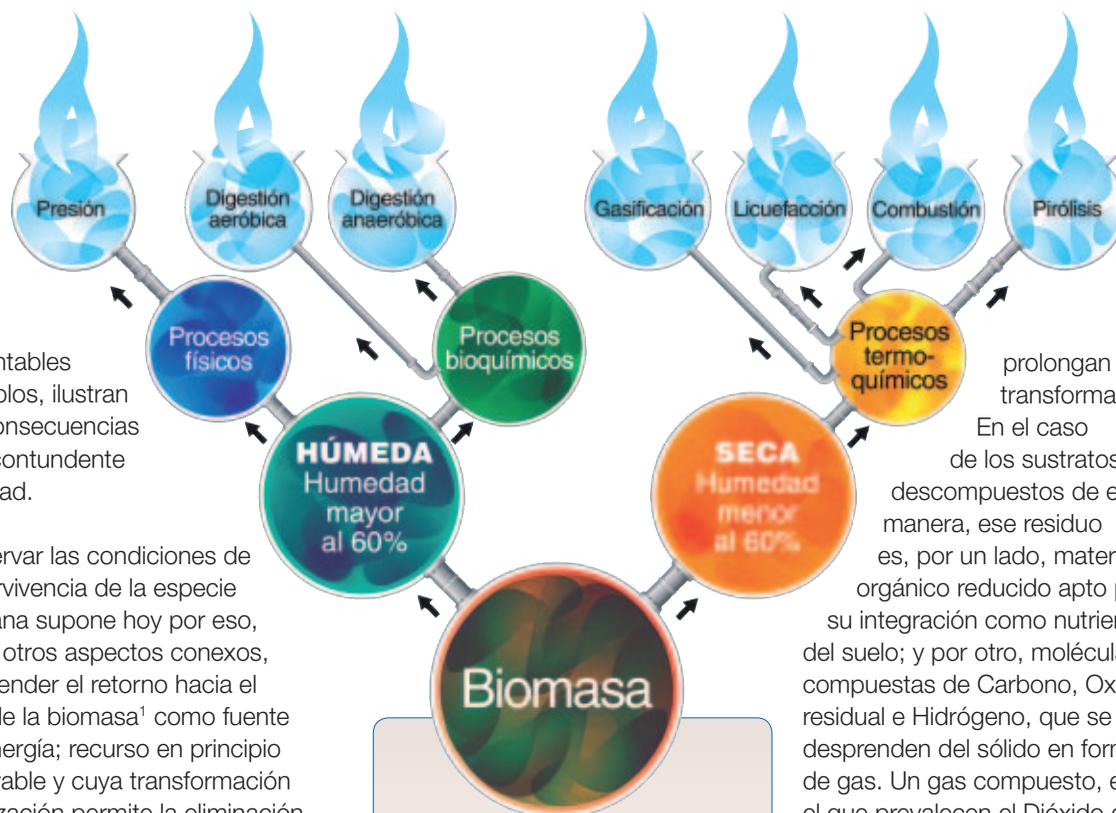
Estos procesos suponen la asimilación de nutrientes por parte del organismo en cuestión y, en todos los casos, la eliminación o liberación de residuos orgánicos e inorgánicos que seguirán su curso en la naturaleza. Las

plantas, capaces de transformar directamente la energía solar en biomasa a través de la fotosíntesis, liberan el oxígeno que necesitamos para encender nuestros procesos de obtención de energía a partir de los alimentos, y absorben el dióxido de carbono que los animales y otros seres vivos eliminamos a través de la respiración. Esa correspondencia virtuosa sería lo que ha sostenido esencialmente el equilibrio energético necesario para la vida en la Tierra. Un equilibrio que el hombre, con sus propios residuos, ha venido a corromper.

Las plantas necesitan la energía exclusivamente para el desarrollo de su propio ser; los animales también, pero por eso la requieren, además, para poder desplazarse en la búsqueda de sus propios alimentos o para construir sus refugios; y el hombre, en el tope hasta ahora de la cadena evolutiva, para sumar a todo ello la creación de máquinas que hagan parte de -o toda- su tarea por él.

Ese "plus" de energía necesaria para el desarrollo de las sociedades humanas ha supuesto la búsqueda, el hallazgo y la utilización de distintas

fuentes de energía y de procesos para liberarla y ponerla al servicio de sus objetivos. Desde el uso original y limitado del calor del sol, o del fuego, hasta el de la fisión nuclear. Y si bien el descubrimiento de la potencia energética del petróleo, del llamado gas "natural" o del carbón mineral, le ha sido al hombre altamente provechoso en ese sentido, lo cierto es que ese desarrollo ha implicado un costo ambiental demasiado alto que, más tarde o más temprano, había que pagar. Un costo fundado en la utilización, precisamente, de fuentes de energía de origen fósil, es decir, inertes, sin participación activa en los procesos de intercambio y de transformaciones propios de la esfera de los seres vivos (la biósfera), pero de todos modos compuestos por elementos disponibles para entrar en actividad. La liberación de esos elementos en forma de gases, por obra de la combustión de ese tesoro energético que el planeta ha ido reservando en sus entrañas durante millones de años, ha superado la capacidad tanto de la atmósfera como de los organismos vivos para procesar con suficiente eficiencia los efectos de su acumulación. El calentamiento global o la "lluvia ácida", entre otros



lamentables ejemplos, ilustran las consecuencias con contundente claridad.

Preservar las condiciones de supervivencia de la especie humana supone hoy por eso, entre otros aspectos conexos, emprender el retorno hacia el uso de la biomasa¹ como fuente de energía; recurso en principio renovable y cuya transformación y utilización permite la eliminación limpia de los componentes tóxicos o contaminantes que se liberen y reingresar otros al circuito de la vida misma. Hoy sabemos que eso es posible aun sin renunciar, en perspectiva, a la potencia conferida a las máquinas mediante el uso de combustibles de origen fósil.

■ El gas de los pantanos

Entre los combustibles obtenibles a partir de la biomasa, el Biogas aparece en este escenario como uno de los más claros ejemplos de la conexión posible entre el hombre, las máquinas y la lógica de la vida en la naturaleza.

Se trata de un gas que se produce naturalmente por obra de distintas colonias de microorganismos que, en ambientes privados de oxígeno libre -ríos, lagos, lagunas, pantanos, sedimentos marinos, interior del suelo, tracto gastrointestinal de animales superiores- se nutren de materia orgánica de distinto origen, para lo que proceden a

La obtención de energía a partir de biomasa puede realizarse básicamente a través de tres tipos de procesos diferentes, cuya elección depende de las características químicas de la biomasa: bioquímicos (residuos orgánicos, azúcares, fibra), termoquímicos (bagazo, RAC, leña) y físicos (granos y frutos utilizados por ejemplo para la obtención de aceites).

descomponerla. Ese proceso digestivo permite a los actores bióticos participantes asimilar lo que necesitan para vivir y desprenderse del residuo de esas operaciones cuyos componentes -orgánicos e inorgánicos- retomarán su curso en otras actividades biológicas que

Se denomina energía renovable a la energía que se obtiene de fuentes naturales; por la inmensa cantidad de energía que contienen y porque son capaces de regenerarse, en principio, indefinidamente.

prolongan su transformación.

En el caso de los sustratos descompuestos de esta manera, ese residuo es, por un lado, material orgánico reducido apto para su integración como nutriente del suelo; y por otro, moléculas compuestas de Carbono, Oxígeno residual e Hidrógeno, que se desprenden del sólido en forma de gas. Un gas compuesto, en el que prevalecen el Dióxido de Carbono (CO₂) y el Metano (CH₄), el componente combustible, y pequeñas cantidades de otros componentes como el sulfuro de hidrógeno o el amoníaco. De la proporción relativa de Metano depende el poder calorífico del biogas obtenido.

El metano y el dióxido de carbono son, como se ha dicho, los principales componentes que, agregados a la atmósfera, producen el efecto invernadero y el calentamiento global. Sin embargo, resultan excedentes y entonces perjudiciales sólo si provienen de fuentes de origen fósil. **La producción “domesticada” de biogas con destino energético para uso humano a partir de residuos orgánicos supone en cambio la instalación de un círculo virtuoso: el proceso permite el reciclado de dichos residuos, acumular el metano producido, eliminar su nocividad quemándolo para obtener energía y liberar CO₂ en cantidades asimilables luego por la población vegetal y demás organismos fotosintéticos.**

¹ En este contexto utilizamos con frecuencia el término Biomasa para hacer referencia preferencialmente a toda materia que, directa o indirectamente puede obtenerse a través de la fotosíntesis; esto incluye la madera, plantas de crecimiento rápido, algas cultivadas, etc. De todos modos, entendemos que el término alude a todo compuesto orgánico utilizable sustrato de cualquier bioproceso. Para nosotros, una fuente de energía procedente, en último lugar, del sol e indefinidamente renovable siempre que se cultive y se utilice adecuadamente.

Producción de metano

El metano es, junto al dióxido de carbono, el residuo final del proceso de descomposición de la materia orgánica en ambientes privados

de oxígeno libre (anaerobiosis). Sus responsables son bacterias prehistóricas (arqueas) que terminan de reducir lo que otras colonias de organismos, en el mismo ambiente, han comenzado previamente a descomponer. Esa descomposición consiste, como el término indica,

en una gradual simplificación de las estructuras moleculares que integran dicha materia y puede ser descrita en cuatro fases sucesivas, identificables según la reacción química que predomina en cada una (Figura).

Metanogénesis

Hidrólisis

Biomasa

Fermentación

Aminoácidos
Azúcares
Glicerina
Ácidos grasos

Diferentes Tipos de Sustratos

- Excrementos
- Aguas residuales de las industrias
- Sub-productos de algunas industrias
- Restos de cosecha
- Aguas grises domiciliarias (cloacas)
- Fracción Orgánica de la Basura
- Biomasa vegetal

Cinco elementos combinados participan de todos los procesos biológicos:
carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y fósforo

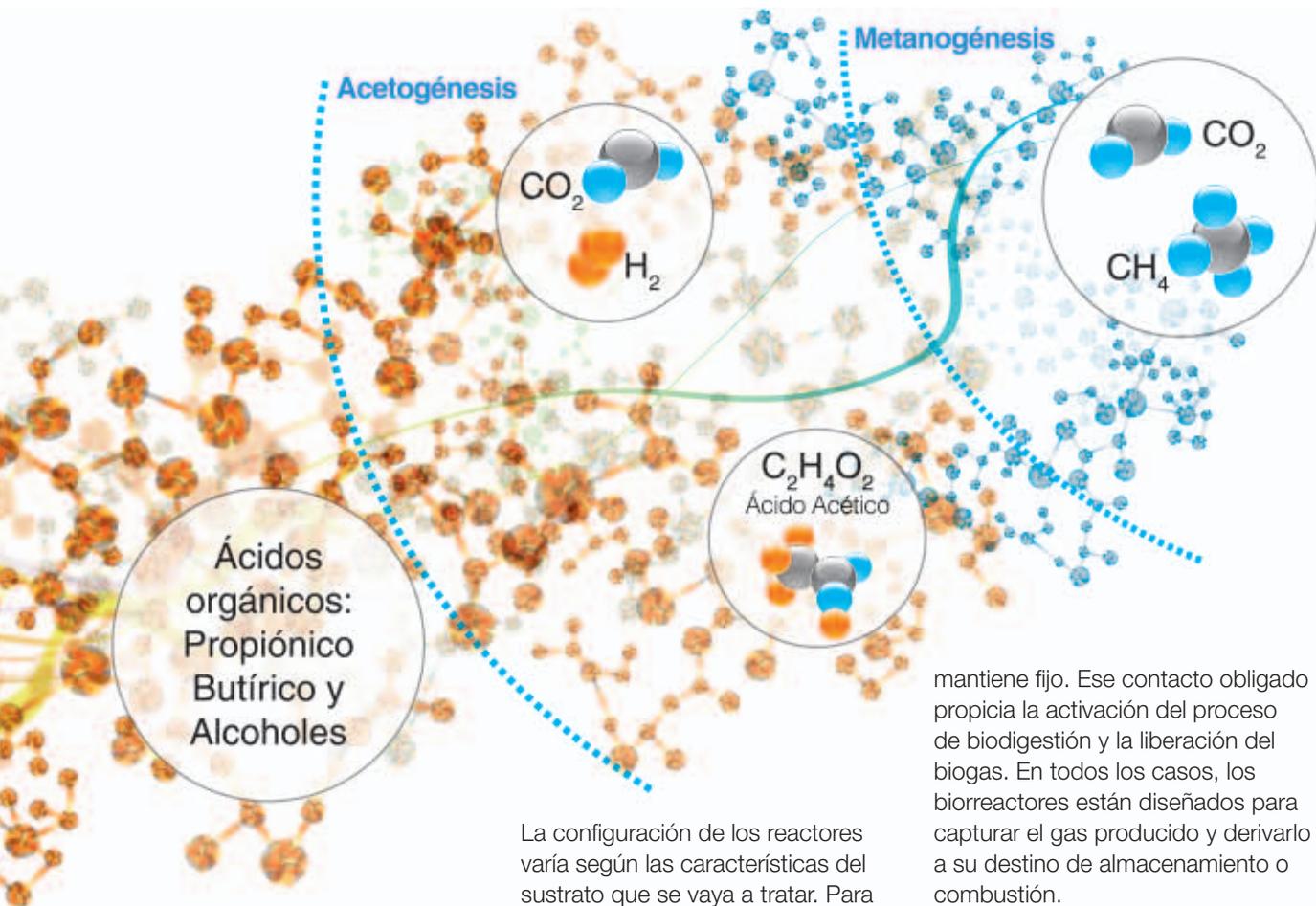
En las dos primeras etapas (**hidrolítica y fermentativa**) a cargo ambas de la misma especie de microorganismos anaerobios facultativos, la materia sufre sus primeros estadios de descomposición, es decir, de segmentación de sus estructuras complejas en moléculas más sencillas y solubles, aptas para atravesar la pared celular y ser incorporadas como nutrientes.

En una tercera etapa (**acetogénica**) bacterias acetogénicas se nutren

La eficiencia de estos procesos en ambientes artificiales especialmente controlados depende de la correcta combinación de sustratos orgánicos compatibles con el consorcio bacteriano completo, en proporciones adecuadas al volumen de la materia a descomponer.

a la vez de los compuestos que han resultado de la fermentación precedente y liberan dióxido de carbono (CO_2), hidrógeno (H_2) y ácido acético ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$) una de las estructuras orgánicas más simples en las que participa también el carbono.

Finalmente, en la cuarta etapa (**metanogénica**) las arqueas, que utilizan el hidrógeno para crecer, terminan de descomponer el acetato y liberan como residuo metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2).



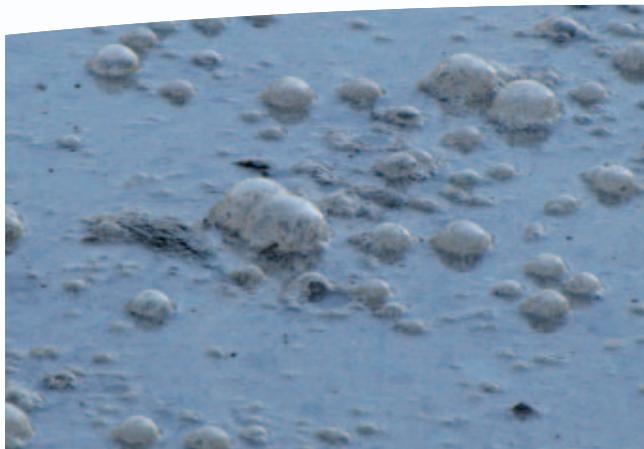
■ Bioreactores anaeróbicos

Un bioreactor es un recipiente en el cual tendrá lugar el proceso metanogénico que pretendemos inducir. En él deben ocurrir de manera viable todas las etapas descritas para la obtención de biogas. El lugar en donde, en definitiva, se resguarden las condiciones para que las colonias de microorganismos presentes en lodos especialmente agregados transformen la biomasa que sirve de sustrato para la producción de gas.

La configuración de los reactores varía según las características del sustrato que se vaya a tratar. Para los sustratos de baja concentración orgánica –en general con contenidos altos de sólidos y semisólidos suspendidos– son preferibles reactores de contacto o mezcla completa (lagunas) en los que los tiempos de residencia son elevados. Para los sustratos líquidos, de alta carga orgánica y bajo contenido de sólidos en suspensión, son preferibles los reactores tipo UASB o EGSB. En estos últimos se hace transitar al sustrato orgánico ingresado a través de un manto de consorcios bacterianos que se

mantiene fijo. Ese contacto obligado propicia la activación del proceso de biodigestión y la liberación del biogas. En todos los casos, los biorreactores están diseñados para capturar el gas producido y derivarlo a su destino de almacenamiento o combustión.

Según sea la configuración del reactor, el lodo (el consorcio microbiano) puede presentarse en varias configuraciones, desde sólidos dispersos más o menos densos en lagunas de mezcla completa, hasta esferas compactas de lodos de hasta 5 mm que contienen todas las especies responsables de la biodegradación de la materia orgánica, en cuyo caso se denominan lodos granulados y son comunes de encontrar en los reactores tipo UASB.



Un biorreactor es una herramienta útil para cumplir con un doble propósito práctico en una misma operación: reciclar productivamente nuestros residuos orgánicos y producir combustible de trámite ambiental limpio.



Biorreactor de tipo UASB.

Entre las características importantes a identificar y dosar cuentan la proporción de líquido y sólido; la presencia y naturaleza de sólidos en los sustratos mayormente líquidos; el tamaño de las partículas -cuanto más pequeñas, más fácilmente son procesadas por las bacterias-; la solubilidad y composición química de los sólidos, ya que polímeros como los de la celulosa se digieren lentamente, mientras que las pectinas (como la de la cobertura de los granos) no; cantidad relativa de nutrientes como el Nitrógeno o el Fósforo o la presencia eventual de sustancias inhibitoras del proceso de digestión.

■ Eficiencia de los procesos

Sea cual fuere el tipo de reactor, lo más importante para conseguir una máxima performance de funcionamiento -máxima reducción de la materia orgánica y alta eficiencia de producción de biogas- es la combinación correcta y proporcionada entre la composición de los lodos y las características del sustrato o materia prima a utilizar.

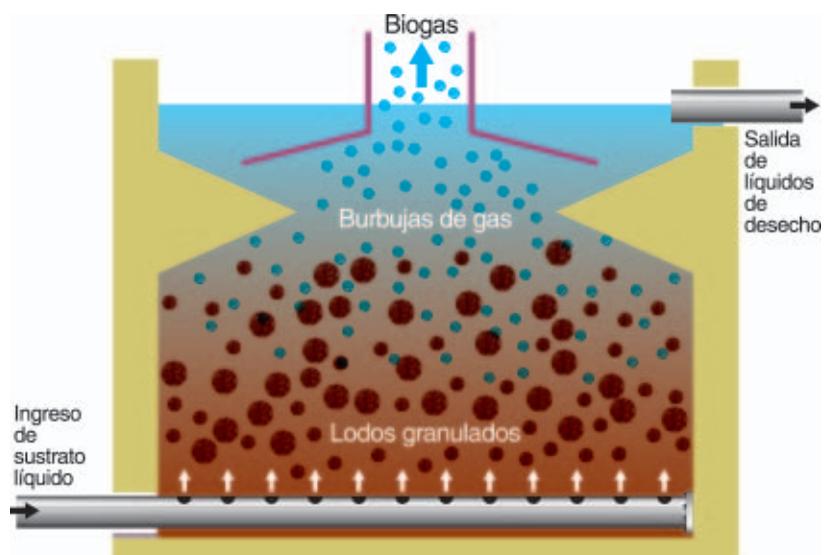
El sustrato

Las materias primas utilizadas como sustratos en la biodigestión anaerobia pueden ser tan variadas como su disponibilidad lo permita. La mayor parte del material carbonáceo de origen orgánico, sea este líquido o sólido, disuelto o en suspensión, es susceptible de descomponerse anaeróbicamente formando biogas. De allí que puedan usarse desde residuos de la actividad agropecuaria o industrial hasta los desechos urbanos tanto líquidos como sólidos, o también biomasa vegetal a partir de cultivos especialmente dedicados a la producción de energía. Para un buen rendimiento, es importante de todos modos que esa materia orgánica sea digerible -es decir, aprovechable como nutriente- por parte de las

colonias de microorganismos entre las que se encuentran sinérgicamente integradas las bacterias que producen metano. Cuanto más fácil y más completamente digerible sea ese sustrato, mayor será el rendimiento de esa operación en términos energéticos. Y es importante tener en cuenta también que, en lo que respecta a sus características físico-químicas, estas se adapten al tipo de biorreactor a utilizar. Así, De todos modos, en relación al rendimiento, es determinante tener en cuenta las características del material a utilizar.

Características de las Fuentes de inóculos (microorganismos)

Las características del lodo (el consorcio bacteriano y el soporte orgánico que las contiene) dependen mucho de la configuración del reactor y de la biomasa con la que se alimenta. En la naturaleza los lodos se encuentran en el fondo de pantanos y aguas con mucha materia orgánica en forma de sedimentos (de ahí su nombre "lodo", ya que tiene aspecto de barro). En otros sistemas naturales, como en el de los animales, las bacterias crecen adheridas al tracto intestinal, o se encuentran como suspensión de microorganismos en el rumen de los rumiantes.



Proceso de metanización en un biorreactor de tipo UASB.

En los reactores, ocurre más o menos lo mismo: en los de mezcla completa los lodos se encuentran dispersos, en suspensión, lo que permite un mejor funcionamiento cuando los sustratos que lo alimentan son sólidos, semisólidos o líquidos con alto contenido de sólidos en suspensión.

En algunos biorreactores apropiados para sustratos líquidos en los que los sólidos se encuentran disueltos, los lodos se encuentran fijos, adheridos

líquidos, sin sólidos en suspensión. De todos modos, tal como su nombre en inglés lo indica -**Upflow Anaerobic Sludge Blanket**, es decir “manto de lodo anaeróbico de flujo ascendente”- el principio de éstos y los del modelo anterior de lodos fijos sigue siendo el mismo: hacer pasar el sustrato a través de un manto de lodo aumentando la superficie de contacto entre ambos. **En este caso, la corriente ascendente de ingreso al reactor debe ser tal que permita la dispersión de los gránulos para**



Biorreactor de tipo UASB. Biogas en producción.

La desventaja de los lodos granulares es que no es tan fácil conseguirlos y generalmente cuando se arranca un reactor UASB con lodos dispersos los períodos de conversión son muy prolongados, pudiendo llevar desde meses hasta años. Debido a la baja velocidad de crecimiento de las bacterias anaeróbicas, es conveniente entonces utilizar para el arranque de un reactor un inóculo (una cantidad inicial de microorganismos) con buena actividad metanogénica. Generalmente este inóculo proviene de otro reactor anaeróbico, pero en lugares donde no se cuenta con este tipo de procesos en funcionamiento se debe recurrir a una fuente de inóculo alternativa.



Biorreactor de contacto o mezcla completa (laguna).

a un material inerte que forma un lecho por el que se hace pasar el sustrato, provocando así el contacto entre ambos medios e induciendo la reacción metanogénica.

Otra forma de fijación del lodo se descubre en los años 80, con el hallazgo de los gránulos: unidades de lodos autoagregadas, que se presentan en esferas de diámetro variable -desde 0,2 a 5 mm- y contienen todas las especies encargadas de la biodegradación de la materia orgánica, acomodadas en estratos concéntricos desde afuera hacia el núcleo donde se encuentran las arqueas metanogénicas. De esta manera cada gránulo adquiere un peso específico tal que le permite sedimentar rápidamente.

Esa característica física de los gránulos fue aprovechada en el diseño de los reactores UASB, que funcionan mejor con efluentes

incrementar el contacto, pero no tanto como para que estos abandonen el reactor junto con el efluente. Su alta sedimentabilidad es uno de los atributos que los hacen eficientes en la conversión de materia orgánica a biogas.



Dos ensayos clave

Antes y durante la producción de biogas en biorreactores se realizan distintos análisis de laboratorio y mediciones tanto del sustrato como de los lodos a utilizar, mediciones que resultan determinantes a la hora de garantizar la calidad y la productividad del contacto entre ambos componentes. Dos de estas mediciones resultan clave.

Concentración y actividad del lodo

La concentración de lodos activos es directamente proporcional a la fracción orgánica de los mismos y se expresa como sólidos suspendidos volátiles (SSV). La **actividad metanogénica específica** (AME), se determina a partir de ensayos en lotes, en los que al lodo en cuestión se coloca

en una incubadora, en condiciones nutricionales y ambientales óptimas, utilizando ácidos grasos volátiles como sustrato. El valor de AME se obtiene midiendo la cantidad de metano que producen en un tiempo determinado, que generalmente es entre 20 y 30 días, expresándose en $gDQO_{CH_4}/gSSV.d$.

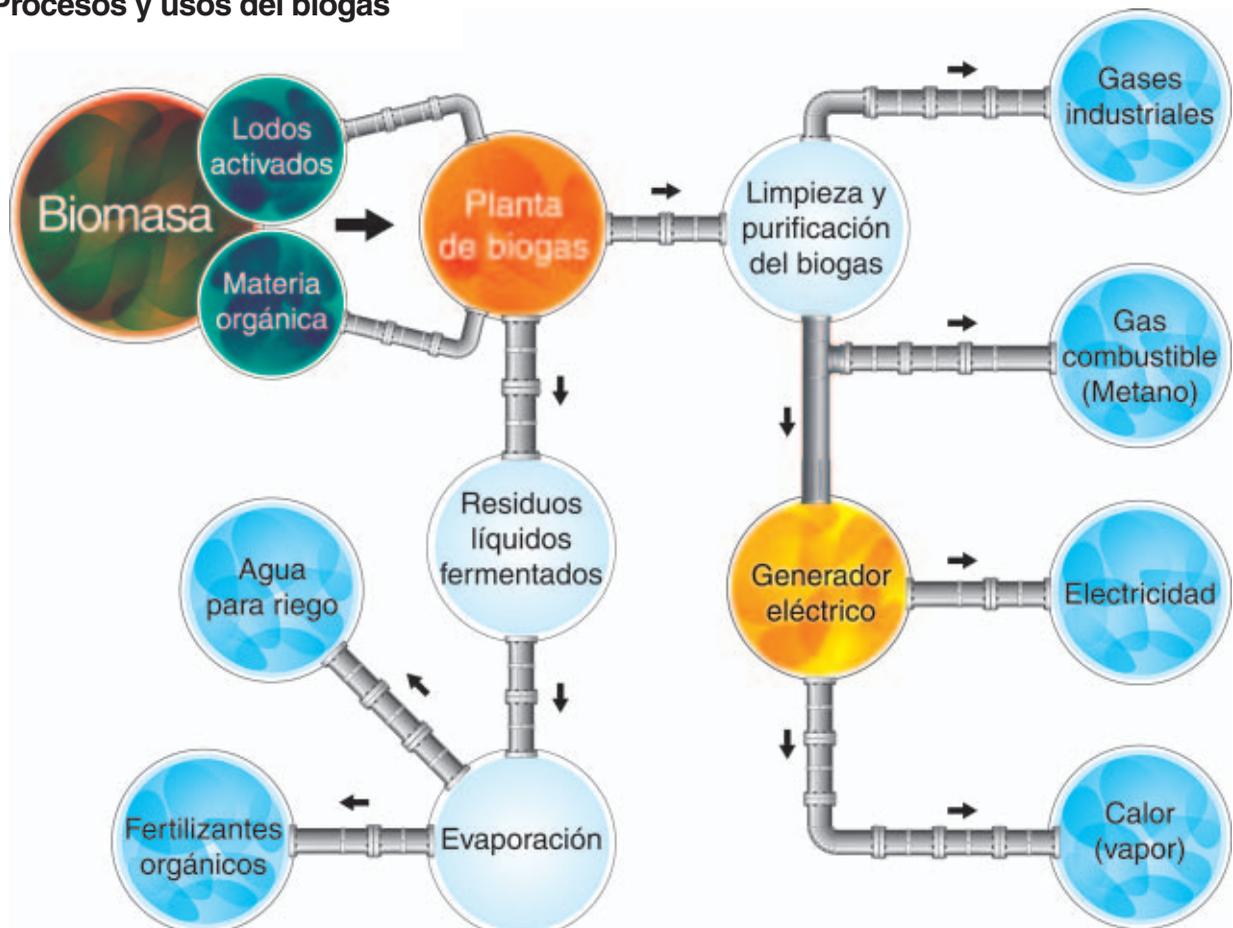
Ensayos sobre los potenciales sustratos

Si la actividad metanogénica de los lodos resulta ser un factor clave, también lo es, como hemos visto, la composición de la materia orgánica que sirve de sustrato, ya que, como hemos visto, no todos sus componentes son igualmente biodegradables.

Para determinar cuán biodegradable es un sustrato en condiciones de anaerobiosis, existe un **ensayo de laboratorio**, que es recomendable

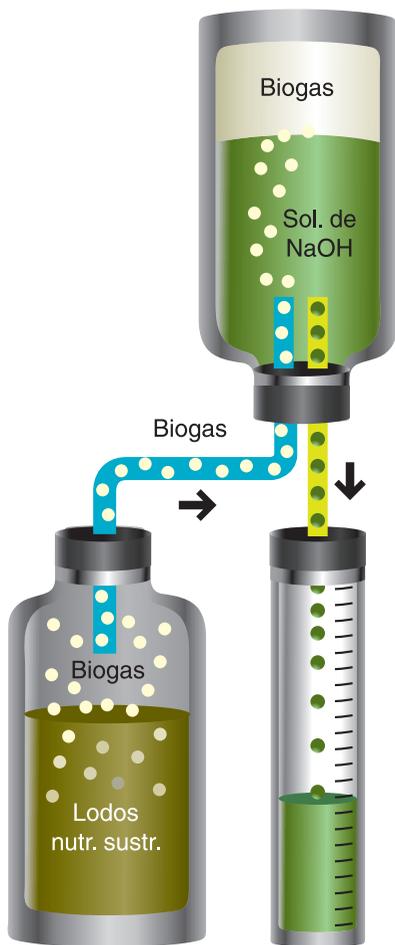
realizar a toda biomasa que vaya a ser utilizada para este proceso. El ensayo se llama **“Biodigestión Anaerobia”** y consiste, en resumidas cuentas, en colocar una determinada cantidad de sustrato, conocida su demanda química de oxígeno (DQO), en un recipiente herméticamente cerrado, en presencia de un lodo con actividad metanogénica conocida y en óptimas condiciones de pH, nutrientes y temperatura, e incubar por espacio de 20 a 30 días, midiendo día a día el gas producido. Al final del ensayo se mide la DQO remanente y, por diferencia, se calcula indirectamente el porcentaje de materia orgánica que ha sido degradada. Con los datos del gas metano producido y la DQO degradada se obtiene el potencial de metanización, esto es, cuánto metano se puede producir con un lodo estándar determinado por gramo de sustrato estudiado.

Procesos y usos del biogas



Evaluación de la actividad microbiana:

Para evaluar la actividad microbiana se utiliza el test de AME (Actividad Metanogénica Específica) que consiste en un ensayo de laboratorio donde se mide el metano liberado, por desplazamiento de volumen.



■ Beneficios de la producción de biogas

- Obtención de energía térmica y eléctrica.
- Obtención de Biofertilizantes
- Menor costo operativo que sistemas de tratamientos aeróbicos
- Revalorización de Pasivos Ambientales
- Creación de Polos Agroindustriales

■ Beneficios desde el punto de vista energético

- Proceso neto de producción de energía.
- Generación de un combustible renovable de alta calidad.

■ Beneficios socioeconómicos

- Disminuye la dependencia externa del abastecimiento de combustibles.
- Favorece el desarrollo del mundo rural y supone una oportunidad para el sector agrícola, ya que permite sembrar cultivos energéticos en sustitución de otros excedentarios.

■ Beneficios económicos resultantes de la aplicación de esta tecnología

- Producción de energía (electricidad y calor).
- Producción de bioabono de alta calidad.
- Los beneficios micro-económicos a través de la sustitución de energía y fertilizantes, el aumento de ingresos y el incremento de la producción agrícola-ganadera cuando se emplea a nivel agropecuario.
- Beneficios macro-económicos a través de la generación descentralizada de energía, reduciendo costos de importación y de protección ambiental.
- Mayor eficiencia en materia de costos que otras opciones de tratamiento desde la perspectiva del ciclo de vida y del rendimiento de utilidades.
- El aprovechamiento energético de la biomasa contribuye a la diversificación energética, uno de los objetivos marcados por los planes energéticos, tanto a escala nacional como mundial.

La equivalencia energética del biogas depende de la concentración de metano que haya en él, ya que el poder calorífico del CO_2 es nulo. Así cuanto mayor sea la cantidad de metano en el biogas, mayor será el poder calorífico de este. Para tener una idea del poder calorífico del biogas se indican a continuación los valores de distintos combustibles:

1 Nm³ de biogas (65 % de metano) = 6,28 kWh

1 Nm³ de gas natural (97 % de metano) = 9,67 kWh

1 litro de Gasolina = 9.06 kWh

1 litro de Diesel = 9.80 kWh

■ Materias primas y lodos tucumanos

La provincia de Tucumán cuenta con un gran potencial para la producción de energía renovable a partir de biogas por el gran volumen y diversidad de materias primas con potencial energético.

Hay dos grandes grupos de materiales que pueden utilizarse como sustrato para la digestión anaeróbica, que se sabe tienen

buenos resultados. Por un lado están las biomásas de desechos de la actividad productiva, entre las que se encuentran las de la producción bovina, porcina, avícola y los de las agroindustrias como la vinaza, efluentes de cítricos y frigoríficos. Otros materiales de desechos que pueden aprovecharse como sustrato para la digestión anaerobia son la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y los líquidos cloacales.



Un segundo grupo de biomásas aptas para la obtención de biogas son los denominados “cultivos energéticos”, es decir cultivos que se destinan exclusivamente para alimentar reactores con el fin de producir biogas. Hoy en los laboratorios de Estudios Ambientales de la EEAOC se está ensayando con ensilado de sorgo sacarífero.

Fuentes de inóculos tucumanos

En Tucumán, los primeros ensayos con reactores anaeróbicos se hicieron a principios de los 80, en el marco del plan alconafita; en esa ocasión se trabajó con un reactor piloto de 30 m³ para tratar vinaza. El proyecto se abandonó junto con el plan en general. Años más tarde, con la sanción de la nueva ley de biocombustibles en el año de 2006 y el gradual avance en materia de higiene ambiental fueron implementándose tecnologías para la biodegradación de digestión

anaerobias tanto en destilerías como cítricas el gradual avance en materia de higiene ambiental propició la implementación de plantas de tratamiento de efluentes que, en algunos casos como el de la industria cítrica, han agregado a esa práctica la producción, el almacenamiento y la utilización de biogas.

Hoy hay instalados en la provincia un total siete reactores anaeróbicos entre plantas piloto hasta plantas industriales de más de 7000 m³. Si bien no en todos los casos se hace un aprovechamiento energético del biogas, el potencial existe. Esto hace que existan en Tucumán reactores en funcionamiento con lodos de buena actividad metanogénica. Si bien la cantidad de esos lodos no es la óptima aún, puede decirse que en su mayoría los reactores que están funcionando en la provincia podrían ser en un futuro cercano fuente de inóculo para nuevos reactores. Mientras tanto tendremos que recurrir en la provincia a fuentes alternativas.

Una buena fuente de lodos con actividad metanogénica son los sedimentos de las plantas

Argentina no cuenta con normativas de seguridad específicas para plantas de biogas

Las normativas de biogas fueron siendo **ajustadas de acuerdo con normativas ya existentes** (petróleo y gas, aguas residuales, fertilizantes, etc)

El mundo ha buscado el **avance de las normas en Biogas** en términos de **estandarización y simplificación de procesos**.

La unificación de las directrices y reglamentos es esencial para la estructuración de una cadena productiva relacionada al biogas, buscando el avance de este mercado de forma segura y a largo plazo.

Principales riesgos en Plantas de Biogas

- Atmósfera peligrosa
- Incendio y explosión
- Sustancias peligrosas en general
- Riesgos mecánicos
- Riesgos eléctricos
- Accidentes y caídas
- Superficie caliente
- Ruido

de tratamiento (generalmente aeróbicas), que permanecen mucho tiempo en una pileta o laguna, ya que debido a las condiciones reinantes, se ven favorecidas las bacterias anaeróbicas.

Otra fuente son los lodos provenientes de líquidos cloacales, que poseen una buena carga natural de bacterias anaeróbicas; en condiciones apropiadas se puede favorecer en ellos el desarrollo suficiente de las productoras de metano.

La actividad pecuaria, especialmente por el contenido del rumen bovino pero también por los desechos fecales bovinos, porcinos o equinos, constituye otra fuente aprovechable.

En la EEAOC trabajamos con diversos sustratos y configuraciones de reactores en la búsqueda de tecnologías que mejor se adapten al tratamiento de efluentes del sector industrial de la provincia de Tucumán y a la producción de biogas con fines energéticos. El último proyecto en el que estamos trabajando es el proyecto de biodigestión de cultivos energéticos, en el cual se pretende utilizar sorgo sacarífero como materia prima para la producción de biogas.