



# DIGESTIÓN ANAEROBIA

## 1.-Definición

La digestión anaeróbica consiste en la descomposición de material biodegradable en ausencia de oxígeno para dar como resultado dos productos principales: biogás (compuesto mayoritariamente por metano) y el lodo estabilizado, conocido como digerido.

Esta tecnología utiliza reactores (digestores) cerrados donde se controlan los parámetros para favorecer el proceso de fermentación anaeróbica, un proceso muy conocido ya que también se produce de un modo natural y espontáneo en diversos ámbitos, como por ejemplo en pantanos, en yacimientos subterráneos o incluso en el estómago de los animales.

## 2.-Proceso Productivo

El proceso para la producción de biogás se detalla en la Figura 1, en ella se pueden ver las distintas etapas que tienen lugar en una planta de digestión anaerobia: pretratamiento y depósito para la alimentación; digestor donde tiene lugar el proceso biológico; gasómetro para recoger el biogás producido y otro depósito para el digerido (efluente).

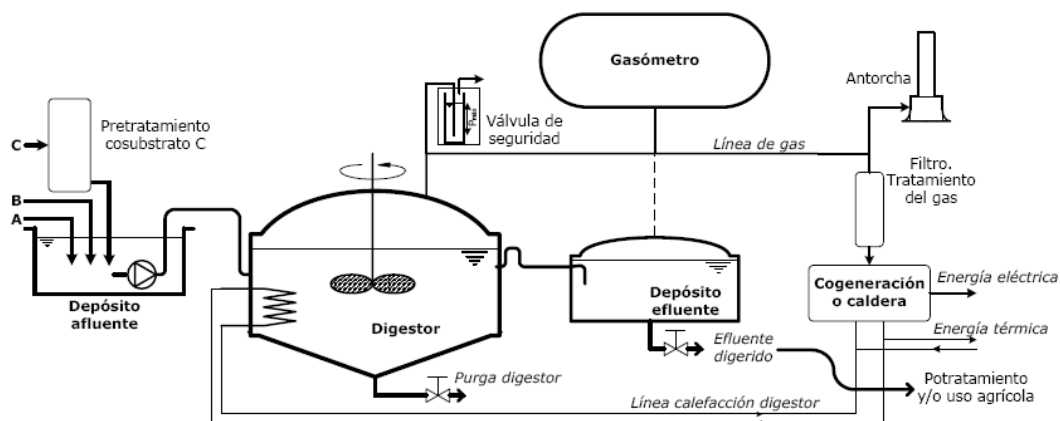


Figura 1. Esquema de funcionamiento del proceso de biogás

### 2.1 Alimentación: Pretratamiento y depósito

La alimentación del proceso se lleva a cabo con las únicas premisas de que ésta contenga material fermentable, tenga características adecuadas para el correcto funcionamiento de la planta según su diseño industrial, y tenga una composición y concentración relativamente estable.

Además, al tratarse de un proceso biológico, se requiere asegurar una alimentación constante que no altere el metabolismo de los microorganismos implicados, y que por lo tanto no pueda afectar el rendimiento de la planta.

Mediante el pretratamiento de la alimentación, adecuando el tamaño de partícula, facilitando la hidrólisis o suministrando material o mezclas de materiales potencialmente productores de biogás, y depósitos de almacenamiento se inicia el proceso y se evita problemas posteriores.

La co-digestión mediante el uso de co-sustratos es una variante tecnológica que puede solucionar problemas o carencias de un material, si son compensadas por las características de otro. En este proceso de co-digestión se combinan varias mezclas de sustratos orgánicos biodegradables, logrando aumentar el potencial de producción de biogás por kilogramo de mezcla degradado (*García Amado, K., 2009*).

Existen subproductos biodegradables, de diferentes orígenes, que tienen un bajo contenido de materia orgánica; en estos casos, la co-digestión se presenta como una metodología exitosa a escala mundial.

## 2.2 Proceso biológico

La digestión anaerobia es un proceso muy complejo tanto por el número de reacciones bioquímicas que tienen lugar, como por la cantidad de grupo de bacterias involucradas en ellas. De hecho, muchas de estas reacciones ocurren de forma simultánea.

El proceso de degradación de la materia orgánica se divide en cuatro etapas:

- a) Hidrólisis.
- b) Etapa fermentativa o acidogénica.
- c) Etapa acetogénica.
- d) Etapa metanogénica.

### *A. Etapa de hidrólisis*

La hidrólisis consiste en una transformación controlada por enzimas extracelulares en la que las moléculas orgánicas complejas y no disueltas se rompen en compuestos susceptibles de emplearse como fuente de materia y energía para las células de los microorganismos.

### *B. Etapa acidogénica*

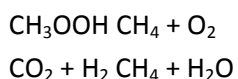
La segunda etapa, controlada por bacterias, consiste en la transformación de los compuestos formados en la primera etapa en otros compuestos de peso molecular intermedio; como dióxido de carbono, hidrógeno, ácidos y alcoholes alifáticos, metilamina, amoníaco y sulfhídrico. Esta etapa se denomina acidogénesis.

### *C. Etapa acetogénica*

En la etapa de acetogénesis, los ácidos y alcoholes que provienen de la acidogénesis se van transformando por la acción de bacterias en ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono.

#### D. Etapa metanogénica

La metanogénesis, última etapa, consiste en la transformación bacteriana del ácido acético y del ácido fórmico en dióxido de carbono y metano y la formación de metano a partir de dióxido de carbono e hidrógeno.



Las bacterias responsables de este proceso son anaeróbicas estrictas. Se distinguen dos tipos de microorganismos, los que degradan el ácido acético a metano y dióxido de carbono (bacterias metanogénicas acetoclásticas) y los que reducen el dióxido de carbono con hidrógeno a metano y agua (bacterias metanogénicas hidrogenófilas).

En la Figura 2 se muestra esquemáticamente las distintas fases del proceso de digestión anaerobia, así como los productos intermedios generados.

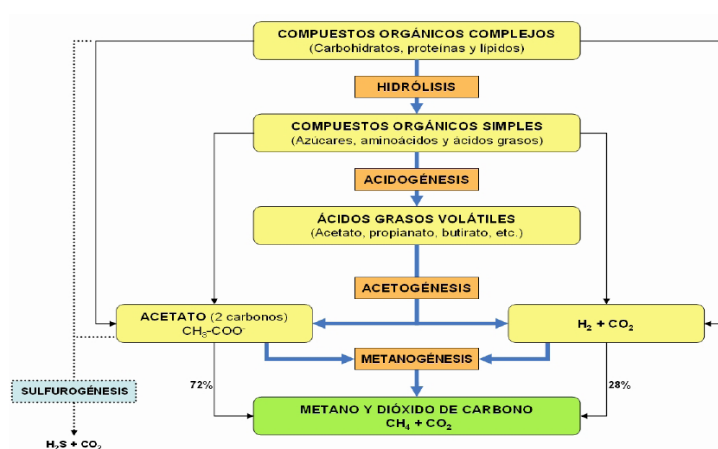


Figura 2. Esquema de reacciones de digestión anaerobia.

(Fuente: Adaptado de Pavlostathis, S.G., Giraldo-Gómez, E. 1991)

La principal vía de producción de metano es la correspondiente a la transformación del ácido acético, con alrededor del 70% del metano producido. Este es un proceso lento y constituye la etapa limitante del proceso de degradación anaeróbica.

Como se observa, el metano no es el único gas que se produce en la degradación de la materia orgánica en condiciones anaerobias, se trata de una mezcla de gases conocida como *biogás*. Está compuesto por un 60% de metano (CH<sub>4</sub>), un 38% de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) aproximadamente y trazas de otros gases (Tabla 1). La composición o riqueza del biogás depende del sustrato digerido y del funcionamiento del proceso.

Tabla 1. Composición del biogás.

Compuesto	Concentración
Metano (CH <sub>4</sub> ) (%)	50 - 70
Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> ) (%)	30 - 50
Hidrogeno (H <sub>2</sub> ) (%)	1- 10
Nitrógeno (N <sub>2</sub> ) (%)	< 3
Oxígeno (O <sub>2</sub> ) (%)	< 0.1
Ácido Sulfhídrico (H <sub>2</sub> S) (ppm)	0 – 8000

### 2.3 Factores que regulan el proceso

Para que pueda desarrollarse el proceso se debe mantener unas condiciones ambientales y operacionales adecuadas, para ello se controlan diversos parámetros ambientales:

1. pH y alcalinidad: el pH debe mantenerse próximo a la neutralidad, pudiendo tener fluctuaciones entre 6,5 y 7,5. Su valor en el digestor no solo determina la producción de biogás sino también su composición.

La alcalinidad es una medida de la capacidad tampón del medio. Puede ser proporcionada por un amplio rango de sustancias, siendo por tanto una medida inespecífica. En el rango de pH de 6 a 8, el principal equilibrio químico que controla la alcalinidad es el dióxido de carbono-bicarbonato. La relación de alcalinidad se define como la relación entre la alcalinidad debida a los ácidos grasos volátiles (AGV) y la debida al bicarbonato (alcalinidad), recomendándose no sobrepasar un valor de 0,3-0,4 para evitar la acidificación del reactor.

2. Potencial redox: con valores recomendables inferiores a -350 mV.

3. Nutrientes: con valores que aseguren el crecimiento de los microorganismos. Una de las ventajas inherentes al proceso de digestión anaerobia es su baja necesidad de nutrientes como consecuencia de su pequeña velocidad de crecimiento. El carbono y el nitrógeno son las fuentes principales de alimento de las bacterias formadoras de metano. Por tanto, la relación Carbono/Nitrógeno (C/N) tiene una gran importancia para el proceso fermentativo recomendándose un ratio 20-30 como el óptimo.

4. Tóxicos e inhibidores: las sustancias inhibitoras son compuestos que bien están presentes en el residuo antes de su digestión o bien se forman durante el proceso fermentativo anaerobio. Estas sustancias reducen el rendimiento de la digestión e incluso pueden llegar a causar la desestabilización completa del proceso. A determinados niveles los AGV generan serios problemas de inhibición sobre todo en combinación con niveles bajos de pH. Otros

problemas de inhibición son los causados por el amonio, el ácido sulfhídrico, o los ácidos grasos de cadena larga. Los pesticidas, desinfectantes o antibióticos presentes en algunos subproductos también pueden llegar a afectar el proceso según su concentración.

Y parámetros operacionales que hacen referencia a las condiciones de trabajo de los digestores:

5. Temperatura: A medida que aumenta la temperatura, aumenta la velocidad de crecimiento de los microorganismos y se acelera el proceso de digestión dando lugar a mayores producciones de biogás. La temperatura de operación en el digestor, está considerada uno de los principales parámetros de diseño, ya que variaciones bruscas de temperatura en el mismo, pueden provocar desestabilización en el proceso.

Se distinguen dos rangos fundamentalmente, el rango *mesófilo* (entre 25 y 45°C) y *termófilo* (entre 45 y 65°C). El rango mesófilo es el más utilizado a pesar de que cada vez más se está utilizando también el termófilo para conseguir una mayor velocidad del proceso y una mejor eliminación de organismos patógenos. Sin embargo, el rango termófilo suele ser más inestable a cualquier cambio en las condiciones de operación y presenta además mayores problemas de inhibición del proceso por la sensibilidad a algunos compuestos, como el amoniaco.

6. Agitación: En función de la tipología de reactor debe transferirse al sistema el nivel de energía necesario para favorecer la transferencia de sustrato a cada población de bacterias, siendo necesaria un equilibrio entre la buena homogeneización y la correcta formación de agregados bacterianos.

7. Tiempo de Retención Hidráulico (TRH): es el cociente entre el volumen del digestor y el caudal de alimentación, es decir, el tiempo medio de permanencia del influente en el reactor, sometido a la acción de los microorganismos, para alcanzar los niveles de energía y/o reducción de la carga contaminante que se hayan prefijado.

$$TRH = \frac{\text{Volumen digestor (m}^3\text{)}}{\text{Caudal alimentación (m}^3\text{/día)}}$$

8. Carga Orgánica Volumétrica (COV): es la cantidad de materia orgánica introducida diariamente en el digestor, expresada normalmente en sólidos volátiles, por unidad de volumen y tiempo.

#### 2.4 Variantes de la Tecnología

Se han desarrollado diversas “tecnologías” para el proceso de digestión anaerobia con el fin de incrementar la carga microbiana en el digestor y conseguir reducir los tiempos de retención hidráulica e incrementar la carga de materia orgánica en el influente a digerir.

Se puede hablar de digestores discontinuos y continuos (de mezcla completa o de flujo pistón). Los digestores de mezcla completa son los más conocidos en el tratamiento de subproductos semisólidos, pero tienen el inconveniente de que no permiten una alta concentración de bacterias en su interior y, por tanto, la producción de biogás por unidad de volumen del digestor es reducida. También existe una nueva generación de digestores que pretende incrementar el rendimiento de producción de biogás por volumen de digestor y que evitan problemas de colmatación o arrastre de biomasa o la formación de caminos preferenciales y, entre ellos se encuentran los de:

- Filtro anaerobio
- Película fija
- Lecho fluidizado, etc.

### **3. Productos/Subproductos obtenidos**

El biogás es el principal producto obtenido en el proceso, pero como ya se ha comentado también se genera el denominado digerido, que se puede decir que es la mezcla del residuo orgánico ya digerido y la biomasa microbiana producida.

En la actualidad, las aplicaciones más comunes del biogás son la combustión directa para la producción de calor y la generación de energía eléctrica ya que puede ser utilizado en una variedad de equipos comerciales: motores de combustión interna, estufas, etc. No obstante, existe un interés creciente por otras alternativas como son su aplicación como combustible de automoción y su integración en la red de gas natural.

El biogás debe ser refinado previamente en cualquiera de sus aplicaciones energéticas. En este sentido, las operaciones de depuración varían en función del uso del biogás; los requerimientos de calidad son mayores cuando se utiliza como combustible de automoción, se inyecta en las líneas de distribución del gas natural o se utilizan en pilas de combustible. La purificación del biogás incluye la eliminación de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SH}_2$ ,  $\text{NH}_3$ , agua y partículas sólidas.

Por otro lado a partir del digerido también se podría fabricar fertilizantes de acuerdo al esquema que mostramos en la Figura 2, cerrando, así, el ciclo de crecimiento de las plantas, que son las fuentes o materias primas de otras actividades agrícolas e industriales donde se producen los materiales orgánicos desechados que sirven de alimentación al proceso de digestión anaerobia.

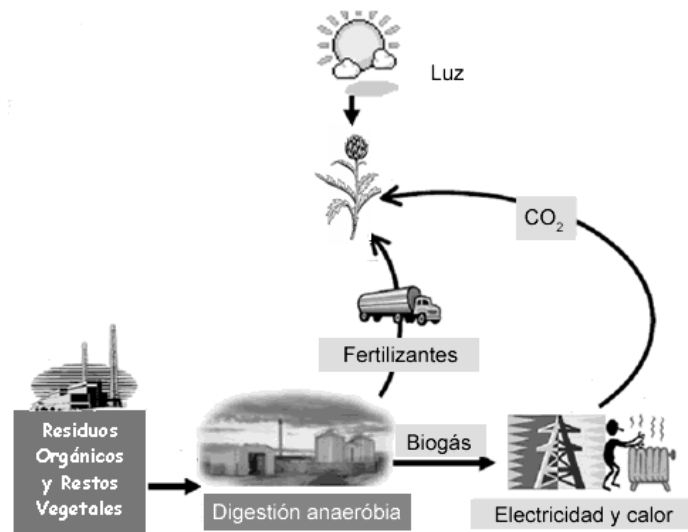


Figura 2. Esquema de utilización de los fertilizantes procedentes de la digestión anaerobia en las plantas

#### 4. Idoneidad de los subproductos

Los subproductos generados por el sector de transformados vegetales se pueden incluir dentro del grupo general de subproductos agroindustriales, materiales que han sido evaluados ya por el Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino para la obtención de biogás.

Estos subproductos deben reunir las principales características técnicas para su valorización en cuanto a:

- Contenido en sólidos totales (ST) y humedad
- Biodegradabilidad
- Balance C/N
- Contenido o presencia de sustancias inhibidoras

Como se ha comentado anteriormente, los subproductos que se estudian contienen un elevado porcentaje en agua y esta agua no produce biogás, pero al tratarse la digestión de un proceso biológico resulta imprescindible para su adecuado desarrollo. Además, la digestión de subproductos agroindustriales se realiza habitualmente por debajo del 15% de ST (vía húmeda). Las únicas consideraciones para el uso de estos subproductos son la forma de alimentación al digester, los mecanismos de agitación o los de eliminación de sedimentos, que deben ser diseñados adecuadamente.

Por otro lado, el contenido en materia orgánica o sólidos volátiles (SV) de estos subproductos suele variar entre el 70% y el 95 % y su contenido en proteínas, azúcares, celulosa, grasas, etc. presenta una buena biodegradabilidad anaeróbica, todo ello los hace interesantes para su digestión.



El balance de carbono y nitrógeno, como ya se ha comentado anteriormente, se recomienda entre 20-30 y la variedad de subproductos procedente de hortalizas y frutas puede aportar ese balance de manera suficiente y en caso de no alcanzarlo o sobrepasarlo se puede jugar con las cantidades de materiales en la mezcla de subproductos. Además, en el sector agroalimentario, donde se incluyen los transformados vegetales, se puede encontrar otros subproductos orgánicos que ajusten el balance C/N.

Finalmente ya se ha comentado que los subproductos en estudio están normalmente libre de compuestos tóxicos que puedan inhibir el proceso, pero sí se tiene que llevar un control de parámetros tales como los AGV's ya que su concentración se puede incrementar por una rápida degradación de las moléculas y aparezcan, así, problemas de acidificación.

Por otro lado, cada subproducto o residuo orgánico tiene asociado un potencial máximo de producción de biogás y el de los restos vegetales es elevado, pero a escala industrial los tiempos de retención se ajustan para aprovechar los picos de producción de biogás y esto se consigue ajustando mezclas de alimentación.

De todo lo expuesto anteriormente se puede decir que es idónea la utilización de los subproductos del sector de transformados vegetales para digestión anaerobia teniendo en cuenta la necesidad de llevar a cabo mezclas adecuadas y el control de los parámetros de funcionamiento. A pesar de ello, actualmente no se encuentran numerosas plantas de digestión para estos subproductos y sí existen numerosas referencias para otros subproductos agroindustriales, como es el caso destacable de digestores para cultivos energéticos en Alemania o, el de digestores para deyecciones ganaderas que se están implantando en España.

## 5. Ventajas e Inconvenientes

### Ventajas

- El biogás, con un alto poder calorífico, puede ser utilizado en la propia instalación para generación de electricidad y/o calor (co-generación); con el consiguiente beneficio económico.
- El biogás es un biocombustible (energía renovable):
  - Cumplimiento de los objetivos del protocolo de Kyoto, objetivos europeos de producción de energía renovable
  - Posibilidad de subvenciones a innovación y demostración en aplicaciones concretas.
  - Posibilidad de subvenciones e incentivos para la inversión en instalaciones de biometanización
- La materia orgánica resultante final (digerido) está bastante estabilizada.
- Los digestores trabajan dentro de un rango de humedad que se acerca al de la mayoría de materiales orgánicos aptos para su biodegradación.
- Se puede trabajar conjuntamente con varios subproductos.

- Reducción de la cantidad de subproductos a gestionar.
- Reduce los problemas de olores.
- Sistemas conocidos, simples y fáciles de gestionar.
- Reducción del consumo de combustibles fósiles.
- Reducción de la emisión de metano evitando el deterioro de la capa de ozono.

Los beneficios de la codigestión son:

- Aprovechar la complementariedad de las composiciones de cada uno de los sustratos para mejorar el proceso y por tanto generar mayor producción de biogás, se puede mejorar la relación C/N.
- Compartir instalaciones de tratamiento.
- Unificar metodologías de gestión.
- Amortiguar las variaciones temporales en composición y producción de cada residuo por separado.
- Reducir costes de inversión y de explotación.
- La mezcla de ambos tipos de subproductos da lugar a procesos más estables y con un incremento considerable de la producción de biogás.
- Permite integrar la valorización de los subproductos orgánicos de una zona geográfica determinada.

#### Inconvenientes

- Difícil mantener la estabilidad del proceso.
- Es muy sensible a tóxicos inhibidores.
- La puesta a punto del sistema requiere largos periodos.
- En muchos casos, se requiere grandes capacidades de tratamiento para un mejor control del proceso y su buen funcionamiento. El volumen del digester puede ser grande.
- Requiere de una inversión inicial elevada en obra civil e implantación de los equipos.