

# Introducción al biogás agroindustrial

España es uno de los países líderes del sector agroalimentario en la UE, y dispone de casi 50 millones de toneladas de residuos orgánicos para producir biogás según se ha estimado en el proyecto PSE PROBIOGAS. La problemática medioambiental asociada a los residuos ganaderos (emisiones de gases de efecto invernadero,...), así como los crecientes costes de gestión de los residuos orgánicos para las industrias alimentarias, han despertado el interés por esta alternativa.

Palabras clave: biogás, ganadería, medioambiente



## Andrés Pascual Vidal

Ingeniero Agrónomo  
Jefe Dpto. Calidad y Medio Ambiente  
Ainia Centro Tecnológico  
apascual@ainia.es

## Introducción

La producción de biogás agroindustrial en España es todavía incipiente. Sin embargo, las perspectivas de crecimiento son elevadas de acuerdo con los objetivos que han sido avanzados en el borrador del Plan de Energías Renovables 2011-2020. Se prevén instalar 400MWe de biogás a final de este periodo (actualmente hay 177MWe), con un crecimiento destacado del agroindustrial frente al biogás de vertedero, predominante hasta ahora. Ello supondría la construcción de aproximadamente 400 plantas de un tamaño medio de 500kWe. España es uno de los países líderes del sector agroalimentario en la UE, y dispone de casi 50 millones de toneladas de residuos orgánicos para producir biogás según se ha estimado en el proyecto PSE PROBIOGAS. La problemática medioambiental asociada a los residuos ganaderos (emisiones de gases de efecto invernadero,...), así como los crecientes costes de gestión de los residuos orgánicos para las industrias alimentarias,



Vista del digester mezcla completa con el motor en el frente (500kWe) y vista general de las instalaciones de la Granja San Ramón en Campo Arcís (Paterna-Valencia).

han despertado el interés por esta alternativa. El Plan de Biodigestión de Purines impulsada por el MARM, con ayudas a la inversión, debería servir de incentivo adicional a las tarifas reguladas a la producción de esta energía renovable. Ainia centro tecnológico tiene una destacada línea de investigación en este campo desde 2001 y está apoyando el desarrollo de muchos proyectos en toda España. Para ello dispone de un equipo altamente cualificado de profesionales y unas infraestructuras piloto punteras a nivel europeo.

## El biogás

La digestión anaerobia o biometanización es un proceso biológico que ocurre en ausencia de oxígeno, en el cual la materia orgánica compleja se descompone por la acción de varios grupos de microorganismos, dando como resultado dos productos principales: el biogás y el digestato.

La composición del biogás varía según el origen de los materiales orgánicos biodegradados entre otros

factores. Los rangos habituales son: 50-70% CH<sub>4</sub>, 30-50% CO<sub>2</sub>, y por debajo de un 1% de H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>S. Este último puede oscilar entre 50-5000 ppm.

El poder calorífico del biogás depende del contenido en metano del mismo, que es el componente que le aporta el valor energético. El poder calorífico del metano es de 9,45 kWh/m<sup>3</sup>, por lo que el poder calorífico del biogás puede calcularse con este valor y el porcentaje de metano del biogás. En comparación con otros combustibles, 1 m<sup>3</sup> de biogás equivale a 0,6 L de gasóleo o 1,5 kg de carbón.

Existen cuatro tipos de biogás en función de su origen. El biogás captado en el vertedero procedente de la degradación de la fracción orgánica de las basuras almacenadas en el subsuelo, el obtenido en las estaciones de depuración de aguas residuales urbanas a partir de lodos, el biogás obtenido a partir de la fracción orgánica de las basuras municipales fermentada en digestores, y por último, el biogás agroindustrial obtenido a partir de residuos y subproductos orgánicos generados a lo largo de toda la cadena agroalimentaria.

Como se ha indicado anteriormente, el presente artículo se centra en el biogás agroindustrial.

## Usos del biogás

Una de las ventajas más importantes del biogás como producto energético es su versatilidad, es decir, las múltiples posibilidades de uso. El aprovechamiento más sencillo es quemarlo en calderas para la producción de calor. Sin embargo, el destino más frecuente es su combustión en un motor para la producción combinada de electricidad y calor. La electricidad obtenida se evacua a la red eléctrica y de este modo consiguiendo el principal ingreso económico regulado por el RD 661/2007. El calor puede utilizarse para el calentamiento de los digestores y para otros usos en las proximidades de la planta:

calefacción, ACS, secado, etc.. Otros posibles aprovechamientos del biogás pasan por su depuración y eliminación del dióxido de carbono para así obtener un gas similar al gas natural y que denominamos biometano. El biometano se puede inyectar en redes de gas para su distribución hasta su punto de uso, o también puede ser empleado como combustible en vehículos. Los países más punteros en estos usos emergentes son Alemania y Suecia respectivamente.

## Residuos orgánicos para la producción de biogás agroindustrial

El biogás agroindustrial es el producido mediante la digestión anaerobia de residuos y subproductos orgánicos procedentes de las actividades agroalimentarias o similares. Existe un amplio abanico de materiales disponibles:

Deyecciones ganaderas: purines y estiércoles de explotaciones ganaderas intensivas.

Subproductos de origen animal: subproductos cárnicos procedentes de mataderos, salas de despiece y fábricas de elaborados, subproductos lácteos y subproductos de pescado, de la industria de transformación o conservera.

Subproductos de origen vegetal: retiradas, producto no conforme, subproductos de la transformación de productos hortofrutícolas, de la industria cervecera, de las almazaras, de la industria del vino, de la industria azucarera y de la recolección del cereal.

Subproductos de las industrias bioenergéticas: ej. procedentes de industrias de producción de biodiésel (glicerina).

Subproductos de la gran distribución y del canal HORECA: productos perecederos caducados procedentes de Super- e Hipermercados y subproductos orgánicos generados en hoteles, restaurantes y servicios de catering.

Además, de todos estos tipos de residuos cabe recordar que en paí-

ses como Alemania y Austria se han promovido los cultivos energéticos para la producción de biogás. Esto ha supuesto la construcción de más de 5.000 plantas en Alemania.

En el marco del proyecto PSE PROBIOGAS ([www.probiogas.es](http://www.probiogas.es)) se han elaborado mapas de potencial de materias primas a nivel nacional que permiten identificar donde se encuentran las principales fuentes de estos materiales. Con esta información se ha determinado el potencial de biogás de nuestro país:

## Requisitos de los residuos agroindustriales para su aprovechamiento en plantas de biogas

Las materias primas agroindustriales o las mezclas de las mismas potencialmente utilizables para la producción de biogás deben reunir una serie de requisitos para poder ser utilizadas en una planta de biogás: biodegradabilidad anaerobia, potencial de producción de biogás, relación C/N y macronutrientes, micronutrientes, humedad, ausencia de tóxicos, inhibidores, patógenos o impropios. A continuación se explican estos requisitos:

### Biodegradabilidad anaerobia

Suele expresarse como el porcentaje de materia orgánica (sólidos volátiles o DQO) eliminada durante la digestión anaerobia. Los materiales que a priori pueden presentar una biodegradabilidad aceptable suelen tener un porcentaje de sólidos volátiles sobre materia seca elevado (entre el 70 y el 100%). Otro parámetro indicador es la DQO soluble. Se considera que los materiales con una DQO superior a 50 g/kg son susceptibles de ser utilizados como sustrato para la producción de biogás mediante digestión anaerobia.

### Potencial de producción de biogás

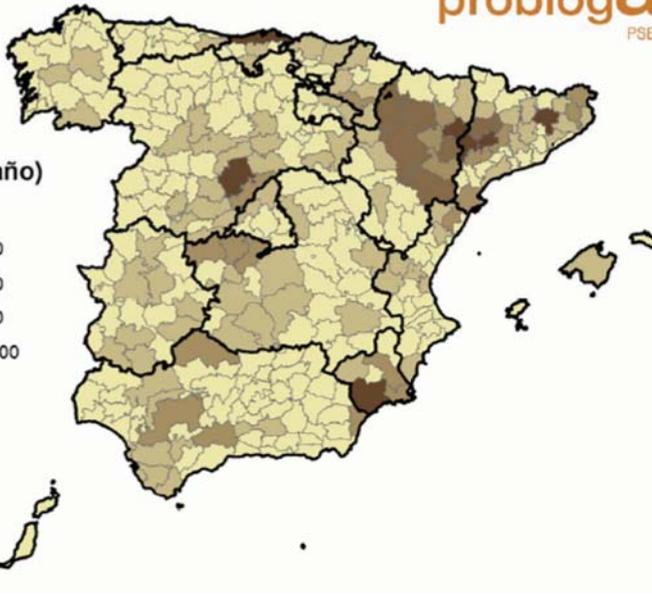
También llamado potencial de biometanización. Es la capacidad máxima de producción de biogás a partir de un sustrato o mezcla de sus-

	t/año	m <sup>3</sup> biogás/año	ktep/año
<b>Ganaderos</b>	41.242.956	1.994.819.724	1.130
<b>Cárnicos</b>	1.436.996	52.851.542	26
<b>Lácteos</b>	1.936.753	76.181.653	45
<b>Pesqueros</b>	314.240	26.400.801	16
<b>Vegetales</b>	3.768.553	394.182.022	216
<b>Otros</b>	223.755	57.619.254	19
<b>TOTAL</b>	48.923.253	2.602.054.996	1.451

Tabla resumen potencial de residuos orgánicos para la producción de biogás en España y potencial energético asociado en términos de biogás (m<sup>3</sup>/tonelada) y energía primaria (kilotoneladas equivalentes de petróleo).



### M.P. Ganaderas (t/año)



Ejemplo de mapa de potencial de subproductos ganaderos (purines, estiércoles, gallinaza...) en España. Más información en [www.probiogas.es](http://www.probiogas.es).

tratos, y suele expresarse en NL/kg SV (litros en condiciones normales por kg de sólido volátil). Cada material tiene asociado un potencial máximo de producción de biogás, existiendo diferencias notables según su composición y biodegradabilidad. Los valores habituales de potencial de biogás de materias primas agroindustriales se sitúan entre 150 y 950 NL/kg SV.

Si se conoce la biodegradabilidad de un material en términos de eliminación de DQO, se puede predecir su productividad de biogás, ya que 1 kg de DQO eliminada genera 0,35 m<sup>3</sup> de metano. Otra forma de determinar el potencial de producción de biogás a partir de un material concreto es mediante el ensayo de biodegradabilidad anaerobia o potencial de biometanización. En este ensayo se mezcla el material a estudiar con un inóculo (normalmente digestato de una planta de biogás en funcionamiento) y se mantiene en condiciones de temperatura constante y ausencia de oxígeno. El biogás generado y su composición se van midiendo en el tiempo, hasta que se detiene la producción de gas. El valor de producción de biogás obtenido en este ensayo representa el máximo que es posible alcanzar a partir del material ensayado. No obstante, en la práctica, sería necesario un tiempo muy largo para alcanzar dicho potencial, por lo que el potencial de biogás en una planta industrial suele ser entre el 60 y el 80% del que se determina en los ensayos de biodegradabilidad anaerobia.

### Relación C/N. Macronutrientes

En las materias primas agroindustriales, la relación carbono total respecto nitrógeno total (relación C/N) puede variar entre 6 (deyecciones ganaderas) y más de 500 (glicerina). El valor óptimo para la digestión anaerobia es 20-25, aunque en la práctica se acepta un rango más amplio (15-40). Los macronutrientes (carbono, nitrógeno, fósforo, azufre) son necesarios para la formación del biogás, de la biomasa microbiana y de enzimas y coenzimas. Permiten crear las condiciones ambientales requeridas por los microorganismos anaerobios. El ratio de macronutrientes (C:N:P:S) recomendado es de 500:15:5:3, para las primeras fases de la digestión anaerobia (hidrólisis/acidogénesis) y 600:15:5:3 para la fase de formación de metano.

### Micronutrientes

Los micronutrientes (B, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mo, Ni, Se, W y Zn) son necesarios para un adecuado desarrollo del metabolismo microbiano. Tienen funciones múltiples en las fases acetogénica y metanogénica del proceso de digestión anaerobia, además de permitir el funcionamiento de enzimas y coenzimas. En relación con su concentración, tanto la deficiencia como el exceso de estos elementos afectan negativamente al desarrollo del proceso microbiológico. Las cantidades requeridas de micronutrientes difieren según las propiedades químicas de los materiales utilizados como sustratos, los factores externos que afectan a dichas propiedades o a los

microorganismos implicados, la velocidad de carga orgánica (VCO) y el tiempo de retención (THR).

### Humedad

Para un adecuado desarrollo del proceso microbiológico, es necesario un valor de humedad mínimo. Aunque el proceso puede desarrollarse a humedades relativamente bajas (60%), la velocidad del proceso se reduce, siendo deseable trabajar con humedades más elevadas (85%). Además, en estos valores, el trasiego de materiales mediante bombeo es más sencillo. Por otra parte, la productividad de biogás por metro cúbico está asociada al aporte de sólidos volátiles, que es menor cuanto mayor es la humedad. Así pues, debe alcanzarse un compromiso entre la productividad de biogás (asociada al aporte de sólidos) y la humedad necesaria para la fermentación o digestión anaerobia. En la práctica, la digestión anaerobia se lleva a cabo en fermentadores con un contenido en sólidos de alrededor de un 10% (digestión "vía húmeda"), siendo minoritarios los digestores que trabajan con contenidos en sólidos superiores al 30% (digestión "vía seca").

### Ausencia de tóxicos, inhibidores, patógenos o impropios

Los tóxicos o inhibidores interfieren en el desarrollo de los microorganismos, y por tanto reducen el rendimiento de la digestión anaerobia e incluso pueden llegar a causar la parada del proceso. Existen dos tipos principales: inhibidores presentes en el residuo antes de su digestión, cuya presencia en las materias primas hay que evitar (pesticidas, desinfectantes, antibióticos, metales pesados, lípidos en proporciones elevadas) e inhibidores formados durante la digestión (productos intermedios, tales como ácidos grasos de cadena larga, ácidos grasos volátiles, amoníaco, hidrógeno o sulfuro de hidrógeno). Los microorganismos patógenos que puedan estar presentes en las materias primas, aunque en algunos casos pueden verse reducidos en gran medida, no se destruyen por completo en la digestión anaerobia. Su presencia puede limitar el uso posterior del digestato como fertilizante en agricultura, por lo que conviene evitar su entrada en la planta de biogás. Si están presentes en las materias primas, puede aplicarse un proceso de higienización previamente a su entrada en el digestor. Otros materiales no deseables son los no biodegradables (arena, piedras, cristal, metales, materiales plásticos)

que pueden crear problemas de separación de fases por su sedimentación o flotación, espumas, abrasión, etc. Son difíciles de retirar del digestor, por ello es importante que no estén presentes en las materias primas.

### Esquema del proceso de valorización de residuos agroindustriales en planta de biogás

Las plantas de biogás agroindustrial siguen en general un esquema como el mostrado en la siguiente figura.

Los residuos integrantes de la mezcla de co-digestión, que pueden someterse de forma opcional a un pretratamiento, se introducen en el fermentador o digestor, donde permanecen por un tiempo (tiempo de retención hidráulica). En función del caudal de tratamiento o del tiempo de retención necesario, puede tratarse de un solo digestor o de varios digestores en serie. El digestato se almacena y posteriormente se aplica como fertilizante en agricultura. Si es necesario, se somete a un proceso de acondicionado, que puede consistir en una separación sólido-líquido, un tratamiento para reducir el contenido en nitrógeno, etc. El biogás generado se depura, seleccionando la tecnolo-

gía necesaria en función del aprovechamiento energético posterior.

### Co-digestión

La digestión anaerobia conjunta de dos o más residuos orgánicos de diferente tipo y origen se denomina co-digestión anaerobia. El objetivo principal de la co-digestión es aprovechar la complementariedad de los materiales de forma que, aunque por separado no reúnan los requisitos mínimos para ser digeridos por vía anaerobia, la mezcla de los mismos sí sea un sustrato apto.

La co-digestión aporta también otros beneficios:

- Amortigua variaciones temporales en composición y producción de cada material orgánico.
- Permite compartir instalaciones de tratamiento, ahorrando costes de inversión y operación, si se compara con el tratamiento por separado de cada uno de los residuos gestionados.
- Permite realizar una gestión integral de residuos orgánicos generados en una zona geográfica determinada, reduciendo el impacto ambiental al reducirse las necesidades de transporte.

Para que la co-digestión tenga éxito, es fundamental diseñar la mezcla adecuadamente. Por ello, no

basta únicamente con considerar el potencial de producción de biogás de la mezcla resultante, sino que también hay que considerar otros criterios:

- Relación C/N cercana a 20.
- Concentración de nitrógeno total no superior a 5 g/L.
- Concentración de nitrógeno amoniacal inferior a 3,5 g/L.
- Aporte de lípidos no superior a 20 g/L.
- Alcalinidad: 3-20 g/L CaCO<sub>3</sub>
- Humedad de la mezcla entre 15 y 20% (si se trata de digestión por vía húmeda).
- Inhibidores: el límite depende del inhibidor.

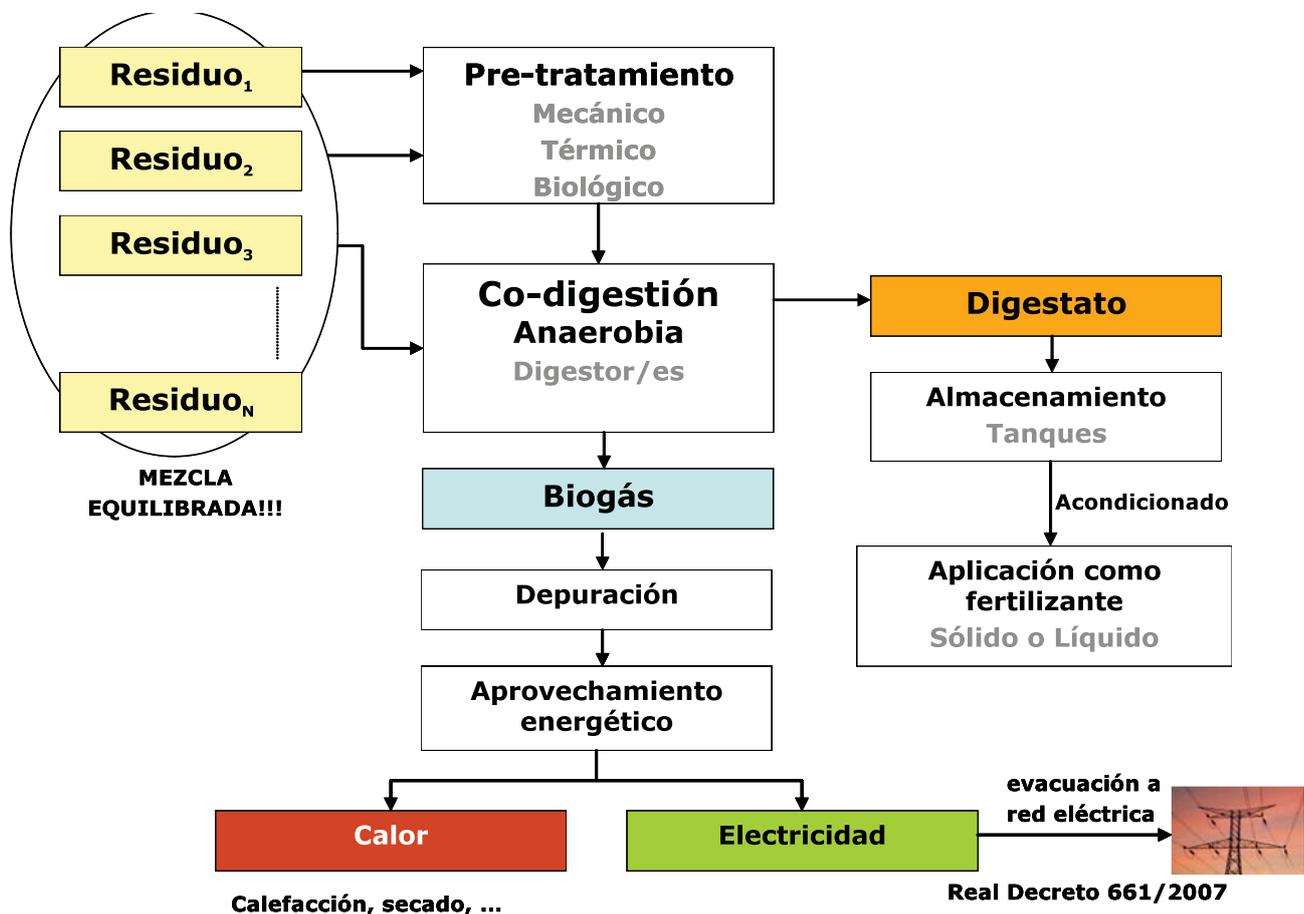
En la práctica, es altamente recomendable realizar ensayos piloto, sobre todo en el caso de que la mezcla a digerir pueda alejarse de los parámetros recomendables.

### Tipos de digestores anaerobios

Los más empleados en plantas de biogás agroindustrial son los de mezcla completo y los de flujo pistón:

#### Digestor tipo mezcla completa

La característica principal de este tipo de digestores es que la concentración de cualquier sustancia es parecida en todos los puntos del vo-



Etapas de proceso de las plantas de biogás agroindustrial.



Digestores piloto en ainia centro tecnológico.

lumen de fermentación. Esta distribución uniforme de concentraciones, tanto de sustrato como de microorganismos, se logra mediante un sistema de agitación, que puede ser de muy diversos tipos (hélices o palas; horizontales, verticales u oblicuos; mecánicos o hidráulicos, etc.).

Es el tipo de digester más sencillo en su concepción, y más ampliamente utilizado en las plantas de biogás agroindustrial en Europa. Se trata habitualmente de digestores cilíndricos verticales, contruidos en hormigón o suelen predominar digestores con capacidad de hasta 2.500 m<sup>3</sup> para mantener más fácilmente la homogeneidad de la biomasa así como la temperatura. La alimentación de sustrato al digester puede ser continua, semicontinua o discontinua, aunque lo más habitual suele ser alimentación semicontinua (una o varias veces al día) o continua. Suele aplicarse a procesos de digestión por vía húmeda (menos del 10% de materia seca en el interior del fermentador). Asimismo, estos digestores pueden operar con recirculación.

Un punto a destacar es que en estos digestores no hay fijación de la biomasa, es decir, los microorganismos abandonan el digester junto con el material digerido. Existe otro tipo de digestores con retención de biomasa, tales como los filtros anaerobios, pero su uso en plantas de biogás agroindustriales no es significativo, siendo más habituales en plantas depuradoras de aguas residuales.

Como ventajas de este tipo de digester se pueden citar su simplicidad, buen funcionamiento, coste reducido y versatilidad (circulación, circulación-almacenamiento o almacenamiento).

Algunos inconvenientes son que los recubrimientos del digester son costosos para grandes volúmenes; el control del tiempo de retención hidráulico resulta más difícil que en digester tipo flujo-pistón; riesgo de formación de costra; las operaciones de mantenimiento del sistema de agitación requieren la completa evacuación del digester.

El coste de este tipo de digester oscila según su volumen y material de construcción. A modo de referencia, el coste de un digester de mezcla completa suele suponer entre un 10-15% de los costes de inversión de la planta de biogás.

En principio, esta tecnología es aplicable a cualquier mezcla de residuos tal que el contenido en sólidos en el interior del digester no supere el 10%. La mezcla por tanto no debe superar el 20% de ST.

### Digester tipo flujo-pistón

La característica principal de los digestores de flujo pistón es que la concentración de cualquier sustancia

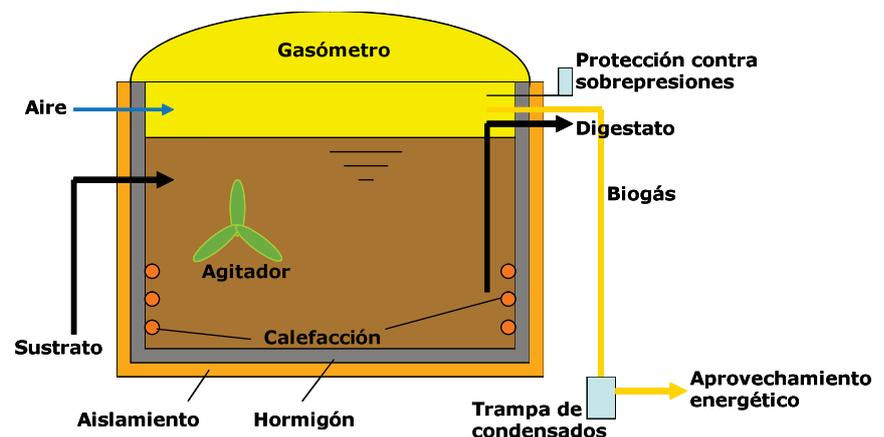
varía en cada sección transversal del digester. Se trata de digestores tubulares o paralelepípeditos contruidos en hormigón o acero (capacidad habitual de hasta 1.000 m<sup>3</sup>). La alimentación es continua o semicontinua, introduciéndose el material por un extremo y extrayéndose por el extremo contrario. Estos digestores suelen estar dotados de una agitación lenta (mezclado) mediante mezcladores de palas, que además tienen la función de favorecer el desplazamiento del material hacia la salida en el caso de digestores horizontales. También existen digestores de flujo pistón vertical; en estos casos, el mezclado puede realizarse de forma mecánica (palas) o hidráulica (inyección de biogás a presión en la base del digester).

Permite mayores concentraciones de sólidos totales (20-40% ST) que en el caso de los digestores de mezcla completa. El rendimiento de degradación de materia orgánica de estos fermentadores es superior al de la tecnología de mezcla completa, consiguiéndose tiempos de retención inferiores.

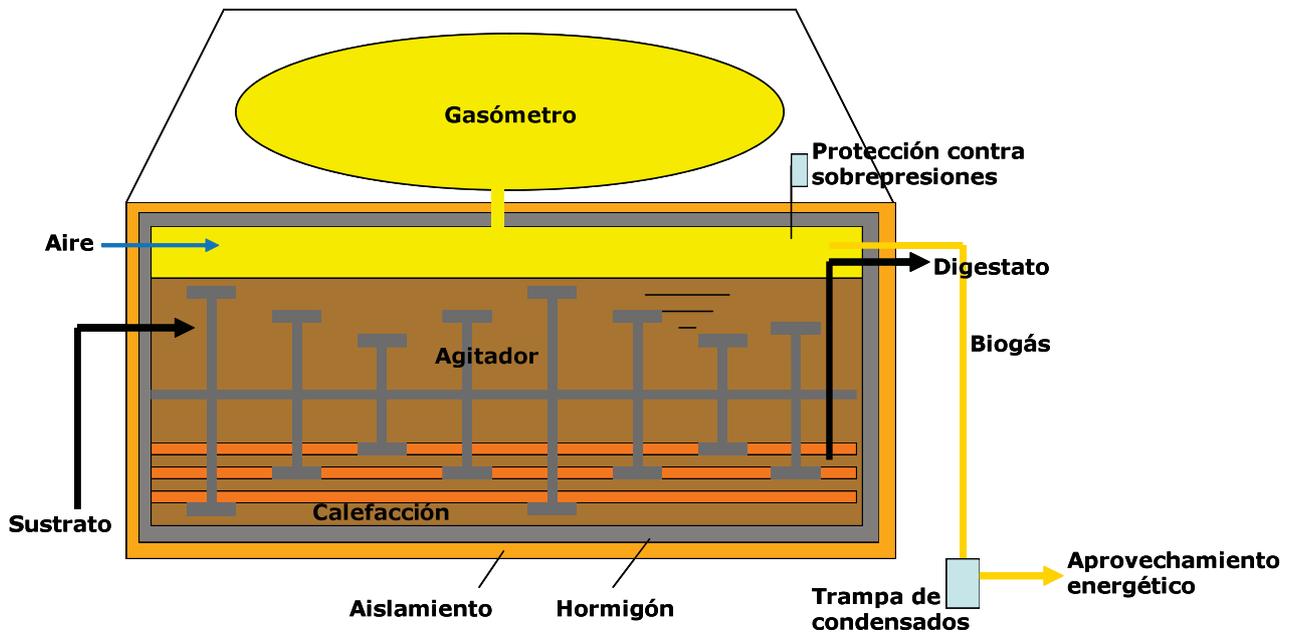
Como ventajas de este sistema se pueden citar el menor riesgo de formación de costra que en mezcla completa; menor tiempo de retención que en los reactores de mezcla completa y por tanto menor volumen; calefacción más eficaz del digester debido al diseño sencillo y compacto que disminuye las pérdidas de calor.

Algunos inconvenientes son la mayor inversión por unidad de volumen que en el caso de los digestores mezcla completa.

Los costes de este sistema varían según el volumen y el material de construcción. El coste de un digester tipo flujo pistón supone alrededor de un 15-20% de los costes de inversión de la planta de biogás. El mayor coste de este tipo de digestores respecto a los de mezcla completa suele com-



Esquema general de un digester tipo mezcla completa.



Esquema general de un digestor tipo flujo pistón.

pensarse por el menor volumen de digestor requerido y por la simplificación en el proceso de pretratamiento. Esta tecnología es aplicable a cualquier mezcla de residuos, estando especialmente indicada cuando se prevé un contenido en ST elevado dentro del digestor (>15%). Admite mezclas de residuos con contenido en sólidos hasta 40%.

También puede utilizarse para separar las fases de la digestión anaerobia; la hidrólisis de material fibroso se realizaría en el digestor flujo pistón, y la metanogénesis se llevaría a cabo en un segundo digestor, normalmente de tipo mezcla completa.

### Digestatos

El digestato es el material orgánico resultante de la digestión anaerobia. A diferencia de los materiales de entrada, presenta un menor contenido en materia orgánica, y el nitrógeno presente en el material está mayoritariamente en forma amoniacal (mientras que en el material de entrada suele predominar el nitrógeno orgánico). El destino principal del digestato es su uso como fertilizante en agricultura. En el caso de que la superficie agrícola próxima a la planta de biogás agroindustrial no permita el aprovechamiento completo de los nutrientes podría producirse una contaminación por nitrógeno que debe evitarse planteando etapas de postratamiento de los digestatos como por ejemplo los sistemas de nitrificación-desnitrificación o stripping de amoníaco.

Desde el punto de vista de su aplicación agronómica, el digestato presenta unas características mejoradas respecto a los sustratos iniciales:

- Composición homogénea, ya que los sustratos han sido mezclados y fermentados durante un tiempo de retención que normalmente supera los 30 días.
- Disminuye la concentración de materia orgánica no estabilizada.
- Menor cantidad de sólidos, menor tamaño de partícula y de viscosidad. Se reduce el riesgo de formación de costras (mejor infiltración). Se mejora la eficiencia de la separación sólido-líquido.
- Se mantiene la concentración de nutrientes (N, P, K) de los sustratos iniciales.
- Mejora del valor fertilizante del nitrógeno, puesto que se encuentra mayoritariamente en forma amoniacal gracias a la digestión anaerobia. Esto favorece su asimilación por parte de las plantas y minimiza la lixiviación del nitrógeno. También se reduce la relación C/N, lo que disminuye la competencia entre los microorganismos del suelo y las raíces de los cultivos por el nitrógeno disponible.
- Se reduce en cierta medida la concentración de patógenos, si los hubiere.
- Reducción de olores (se reduce el contenido en fenoles y ácidos húmicos), larvas y semillas de malas hierbas (según proceso).