

Energía de la
Biomasa

Biomasa

Digestores anaerobios



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE INDUSTRIA, TURISMO
Y COMERCIO



Instituto para la
Diversificación y
Ahorro de la Energía

Energía de la
Biomasa

Biomasa

**Digestores
anaerobios**



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE INDUSTRIA, TURISMO
Y COMERCIO



Instituto para la
Diversificación y
Ahorro de la Energía

TÍTULO

“Biomasa: Digestores anaerobios”

DIRECCIÓN TÉCNICA

IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía)

ELABORACIÓN TÉCNICA

BESEL, S.A. (Departamento de Energía)

.....

Esta publicación ha sido producida por el IDAE y está incluida en su fondo editorial.

Cualquier reproducción, parcial o total, de la presente publicación debe contar con la aprobación por escrito del IDAE.

Depósito Legal: M-45366-2007

ISBN-13: 978-84-96680-21-0

.....

IDAE

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía

C/ Madera, 8

E-28004-Madrid

comunicacion@idae.es

www.idae.es

Madrid, octubre de 2007

1	Introducción	5
1.1	Características del biogás	7
1.2	Usos del biogás	8
2	Bioquímica y microbiología	11
2.1	Fases de la digestión anaerobia	11
2.2	Producción de metano	13
3	Claves de la digestión anaerobia	15
3.1	Parámetros ambientales y operacionales	15
3.2	Potenciales y rendimientos	17
3.3	Co-digestión anaerobia	22
3.4	Acondicionamiento del sustrato previo a la producción de biogás	24
3.5	Gestión del aprovisionamiento y de los subproductos	24
4	Tecnologías de digestión anaerobia	25
4.1	Reactor de mezcla completa sin recirculación	25
4.2	Reactor de mezcla completa con recirculación	25
4.3	Reactor con retención de biomasa, sin recirculación	26
4.4	Sistemas discontinuos	29

4.5 Otros sistemas	29
4.5.1 Sistemas de dos etapas	29
4.5.2 Sistemas de dos fases	30
5 Producción eléctrica con biogás	31
5.1 Estado del arte	31
5.2 Marco legal. RD 661/2007	32
5.3 Proyectos significativos.....	34
5.3.1 Planta de co-digestión de Ecologic Biogás	34
5.3.2 Planta de tratamiento de purines de Tracjusa.....	38
6 Bibliografía y referencias	43



1 Introducción

La digestión anaerobia es un proceso biológico en el que la materia orgánica, en ausencia de oxígeno, y mediante la acción de un grupo de bacterias específicas, se descompone en productos gaseosos o “biogás” (CH_4 , CO_2 , H_2 , H_2S , etc.), y en digestato, que es una mezcla de productos minerales (N, P, K, Ca, etc.) y compuestos de difícil degradación.

El biogás contiene un alto porcentaje en metano, CH_4 (entre 50-70%), por lo que es susceptible de un aprovechamiento energético mediante su combustión en motores, en turbinas o en calderas, bien sólo o mezclado con otro combustible.

El proceso controlado de digestión anaerobia es uno de los más idóneos para la reducción de emisiones de efecto invernadero, el aprovechamiento energético de los residuos orgánicos y el mantenimiento y mejora del valor fertilizante de los productos tratados.

La digestión anaerobia puede aplicarse, entre otros, a residuos ganaderos, agrícolas, así como a los residuos de las industrias de transformación de dichos productos. Entre los residuos se pueden citar purines, estiércol, residuos agrícolas o excedentes de cosechas, etc. Estos residuos se pueden tratar de forma independiente o juntos, mediante lo que se da en llamar co-digestión. La digestión anaerobia también es un proceso adecuado para el tratamiento de aguas residuales de alta carga orgánica, como las producidas en muchas industrias alimentarias.

Los beneficios asociados a la digestión anaerobia son:

- reducción significativa de malos olores,
- mineralización,

- producción de energía renovable si el gas se aprovecha energéticamente y sustituye a una fuente de energía fósil,
- reducción de emisiones de gases de efecto invernadero derivadas de la reducción de emisiones incontroladas de CH₄, (que produce un efecto invernadero 20 veces superior al CO₂), y reducción del CO₂ ahorrado por sustitución de energía fósil.

La promoción e implantación de sistemas de producción de biogás colectivos (varias granjas), y de co-digestión (tratamiento conjunto de residuos orgánicos de diferentes orígenes en una zona geográfica, usualmente agropecuarios e industriales) permite, además, la implantación de sistemas de gestión integral de residuos orgánicos por zonas geográficas, con beneficios sociales, económicos y ambientales.

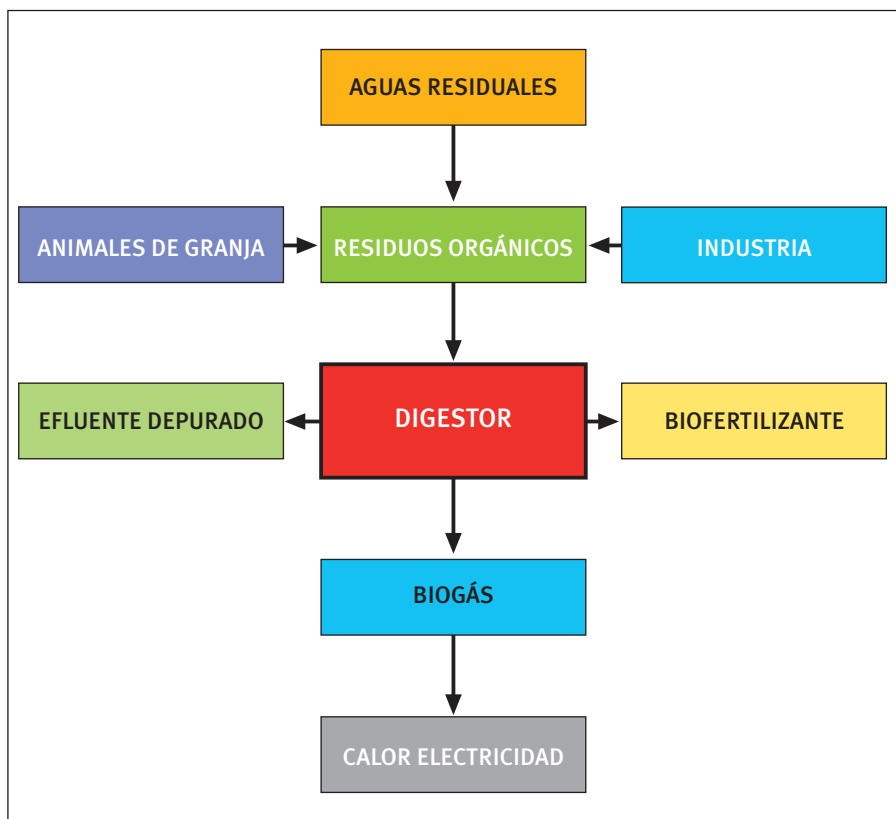


Figura 1. Aplicaciones y productos del proceso de digestión anaerobia. Fuente: CIEMAT.

La digestión anaerobia se puede llevar a cabo con uno o más residuos con las únicas premisas de que sean líquidos, contengan material fermentable, y tengan una composición y concentración relativamente estable. La co-digestión es una variante tecnológica que puede solucionar problemas o carencias de un residuo, si son compensadas por las características de otro.

1.1 CARACTERÍSTICAS DEL BIOGÁS

El biogás es el producto gaseoso de la digestión anaerobia de compuestos orgánicos. Su composición, que depende del sustrato digerido y del tipo de tecnología utilizada, puede ser la siguiente:

- 50-70% de metano (CH_4).
- 30-40% de anhídrido carbónico (CO_2).
- $\leq 5\%$ de hidrógeno (H_2), ácido sulfhídrico (H_2S), y otros gases.

Debido a su alto contenido en metano, tiene un poder calorífico algo mayor que la mitad del poder calorífico del gas natural. Un biogás con un contenido en metano del 60% tiene un poder calorífico de unas 5,500 kcal/ Nm^3 (6,4 kWh/ Nm^3). Es decir, salvo por el contenido en H_2S , es un combustible ideal, con unas equivalencias que se muestran en la figura siguiente.

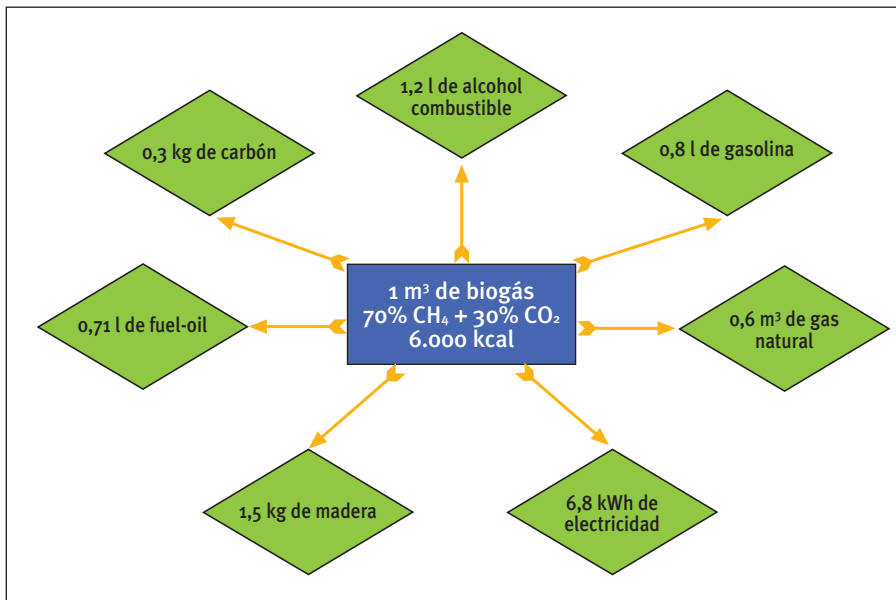


Figura 2. Equivalencias de biogás con otras fuentes de energía. Fuente: CIEMAT.

1.2 USOS DEL BIOGÁS

El biogás producido en procesos de digestión anaerobia puede tener diferentes usos:

- En una caldera para generación de calor o electricidad.
- En motores o turbinas para generar electricidad.
- En pilas de combustible, previa realización de una limpieza de H₂S y otros contaminantes de las membranas.
- Purificarlo y añadir los aditivos necesarios para introducirlo en una red de transporte de gas natural.
- Uso como material base para la síntesis de productos de elevado valor añadido como es el metanol o el gas natural licuado.
- Combustible de automoción.

El biogás, además de metano tiene otra serie de compuestos que se comportan como impurezas: agua, sulfuro de hidrógeno, monóxido de carbono y compuestos orgánicos volátiles como hidrocarburos halogenados, siloxanos, etc. Por tanto, es necesaria la limpieza del combustible, dependiendo del uso final.

Una aplicación tipo de la digestión anaerobia es en las granjas de ganado bovino y porcino de gran tamaño o como planta comarcal de gestión de residuos en zonas de alta concentración de ganado estabulado, por el gran problema que generan los purines. En este caso se puede proponer y proyectar una planta de digestión anaerobia de producción de biogás como auto abastecimiento energético según las necesidades.

Uso final	Eliminación del agua	Eliminación del CO ₂	Eliminación del H ₂ S
Producción térmica en caldera	1	0	0-1-2
Producción de electricidad en motores estacionarios	1 ó 2	0-1-2	1 ó 2
Combustible de vehículos o para turbinas	2	2	2
Gas natural para calefacción	2	2	2
Pilas de combustible	2	2	2

Tabla 1. Tratamiento según el uso final del biogás. (0= no tratamiento, 1= tratamiento parcial, 2= tratamiento elevado). Fuente: CIRCE.

Una situación ideal sería implantar un pequeño sistema de cogeneración, que permitiría un ahorro en agua caliente y electricidad en épocas frías, junto con la conexión a la red para la venta eléctrica. En los meses de verano, venta a la red eléctrica o venta de biogás para su embotellado a presión.

Generalmente, los costes asociados a instalaciones de gestión de residuos orgánicos mediante digestión anaerobia son elevados y la productividad es muy baja en términos de la energía contenida en el biogás respecto a la cantidad de residuo tratado.



2 Bioquímica y microbiología

La bioquímica y microbiología de los procesos anaerobios es mucho más complicada que en los procesos aerobios, debido al gran número de rutas que puede utilizar una comunidad anaerobia para la bioconversión de las sustancias orgánicas. Estas rutas no se conocen al detalle pero, en los últimos años, se ha avanzado mucho en las líneas de investigación de este proceso.

2.1 FASES DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA

La digestión anaerobia está caracterizada por la existencia de varias fases consecutivas diferenciadas en el proceso de degradación del sustrato (término genérico para designar, en general, el alimento de los microorganismos), interviniendo 5 grandes poblaciones de microorganismos (Figura 3). Estas poblaciones se caracterizan por estar compuestas por seres de diferentes velocidades de crecimiento y diferente sensibilidad a cada compuesto intermedio como inhibidor (por ejemplo, H_2 , ácido acético o amoníaco producido de la acidogénesis de aminoácidos). Esto implica que cada etapa presentará diferentes velocidades de reacción según la composición del sustrato y que el desarrollo estable del proceso global requerirá de un equilibrio que evite la acumulación de compuestos intermedios inhibidores o la acumulación de ácidos grasos volátiles (AGV), que podría producir una bajada del pH. Para la estabilidad del pH es importante el equilibrio CO_2 -bicarbonato. Para hacer posible algunas reacciones es necesaria la asociación sintrófica entre bacterias acetogénicas y metanogénicas, creando agregados de bacterias de estas diferentes poblaciones.

Lo anterior implica que las puestas en marcha de los reactores sean, en general, lentas, requiriendo tiempos que pueden ser del orden de meses.

En general, la velocidad del proceso está limitada por la velocidad de la etapa más lenta, la cual depende de la composición de cada residuo. Para sustratos solubles, la fase limitante acostumbra a ser la metanogénesis, y para aumentar la velocidad la estrategia consiste en adoptar diseños que permitan una elevada concentración de microorganismos acetogénicos y metanogénicos en el reactor. Con esto se pueden conseguir sistemas con tiempo de proceso del orden de días. Para residuos en los que la materia orgánica esté en forma de partículas, la fase limitante es la hidrólisis, proceso enzimático cuya velocidad depende de la superficie de las partículas. Usualmente, esta limitación hace que los tiempos de proceso sean del orden de semanas, de dos a tres. Para aumentar la velocidad, una de las estrategias es el pretratamiento para disminuir el tamaño de partículas o ayudar a la solubilización (maceración, ultrasonidos, tratamiento térmico, alta presión, o combinación de altas presiones y temperaturas).

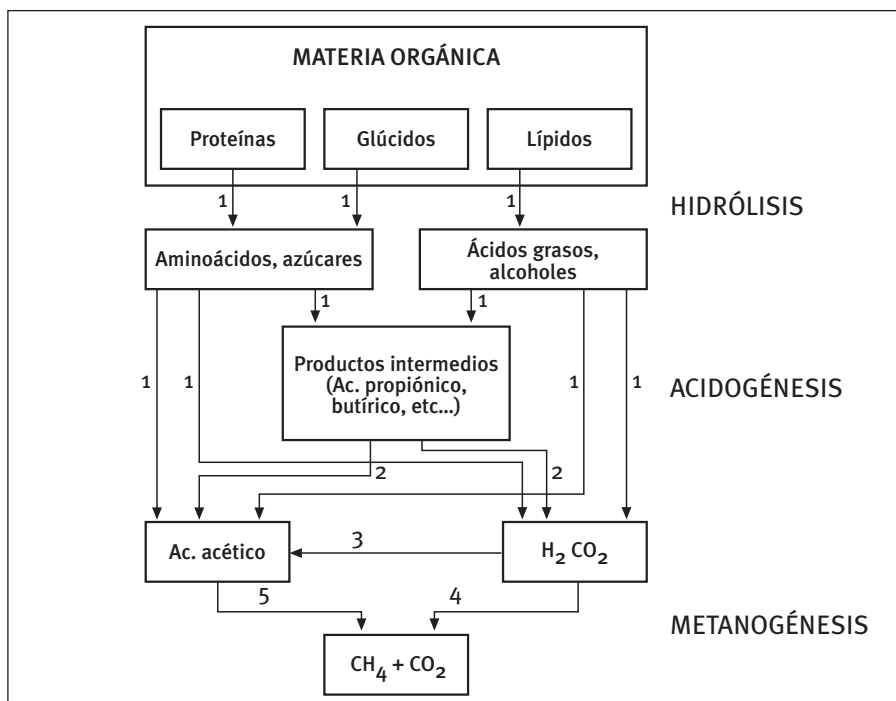


Figura 3. Fases de la fermentación anaerobia y poblaciones de microorganismos: 1) Bacterias hidrolíticas-acidogénicas; 2) Bacterias acetogénicas; 3) Bacterias homoacetogénicas; 4) Bacterias metanogénicas hidrogenófilas; 5) Bacterias metanogénicas acetoclásticas. Fuente: GIRO.

2.2 Producción de metano

Para un sistema anaerobio, la DQO (Demanda Química de Oxígeno) puede considerarse un parámetro conservativo, es decir, la suma de las DQO de entrada debe ser igual a la suma de las DQO de salida:

$$DQO_{\text{influyente}} = DQO_{\text{efluente}} + DQO_{\text{biogás}} \quad (1)$$

Si se considera un biogás formado exclusivamente por CH_4 y CO_2 , y teniendo en cuenta que la DQO del CO_2 es nula, la DQO eliminada en el residuo se correspondería con la DQO obtenida en forma de metano, lo cual significa 2,857 kg DQO por m^3 CH_4 , ó 0,35 m^3 de CH_4 por kg de DQO eliminada, a $P=1$ at y $T=0^\circ\text{C}$, ó 0,38 m^3 de CH_4 a $P=1$ at y 25°C . Atendiendo a la potencia calorífica del metano, estos valores corresponderían aproximadamente a 3,5 $\text{kW}\cdot\text{h}/\text{kg}$ DQO eliminada, en unidades de energía primaria. Esto confiere a los sistemas anaerobios una clara ventaja frente a los sistemas aerobios de tratamiento de residuos orgánicos y aguas residuales, para los cuales el consumo de energía para transferir oxígeno se encuentra alrededor de 1 $\text{kW}\cdot\text{h}/\text{kg}$ O_2 consumido.

Variaciones sobre los valores anteriores pueden ser debidos a posibles acumulaciones en el reactor, a la producción de otros gases (H_2 , H_2S ,...), o a que la DQO medida no sea tan solo debida al carbono oxidable.

En la Figura 4 se ilustra esta conservación de la DQO en el proceso de digestión anaerobia para un residuo con un 10% de la DQO no biodegradable, en el que el 90% de la DQO inicial se transforma en CH_4 .

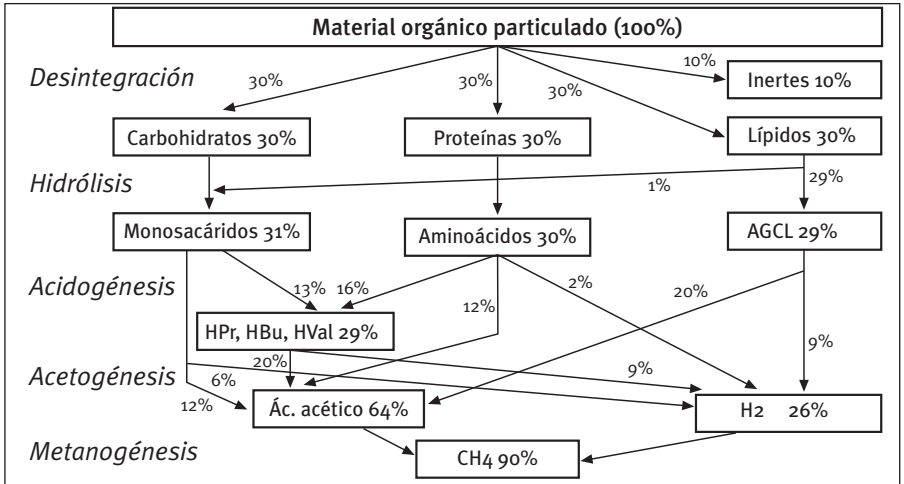


Figura 4. Flujo de DQO (Demanda Química de Oxígeno) en el proceso de digestión anaerobia de materia orgánica particulada, formada por un 10% de materiales inertes y un 90% de hidratos de carbono, proteínas y lípidos, a partes iguales. El ácido propiónico (HPr, 10%), ácido butírico (HBU, 12%) y ácido valérico (HVAL, 7%) se han agrupado para simplificar el esquema. AGCL: ácidos grasos de cadena larga. Fuente: Batstone et al., 2002 y GIRO.

3 Tipos de la Digestión anaerobia

3.1 PARÁMETROS AMBIENTALES Y OPERACIONALES

Los parámetros ambientales que hay que controlar hacen referencia a condiciones que deben mantenerse o asegurarse para el desarrollo del proceso. Estos son:

- pH, que debe mantenerse cercano a la neutralidad.
- Alcalinidad, para asegurar la capacidad tampón y evitar la acidificación. Es recomendable una alcalinidad superior a 1,5 g/l CaCO_3 .
- Potencial redox, con valores recomendables inferiores a -350 mV.
- Nutrientes, con valores que aseguren el crecimiento de los microorganismos.
- Tóxicos e inhibidores, cuya concentración ha de ser la mínima posible.

Los parámetros operacionales hacen referencia a las condiciones de trabajo de los reactores:

- Temperatura. Podrá operarse en los rangos psicrófilico (temperatura ambiente), mesófilico (temperaturas en torno a los 35 °C) o termófilico (temperaturas en torno a los 55 °C). Las tasas de crecimiento y reacción aumentan conforme lo hace el rango de temperatura, pero también la sensibilidad a algunos inhibidores, como el amoníaco. En el rango termófilico se aseguran tasas superiores de destrucción de patógenos.
- 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 o agregados de bacterias, así como homogeneizar para mantener concentraciones medias bajas de inhibidores.

- Tiempo de retención. Es el cociente entre el volumen y el caudal de tratamiento, es decir, el tiempo medio de permanencia del influente en el reactor, sometido a la acción de los microorganismos. En la Figura 5 se indica la tendencia general de los índices de eliminación de materia orgánica (expresada en forma de sólidos volátiles, SV) y de producción específica de gas, por unidad de volumen de reactor, en función del tiempo de retención. Notar que existe un tiempo mínimo por debajo del cual el reactor no presenta actividad, que la eliminación de materia orgánica sigue una tendencia asintótica, con una eliminación completa a tiempo infinito, y una producción de gas por unidad de volumen de reactor con un máximo para un tiempo de retención correspondiente a una eliminación de sustrato entre el 40 y el 60%.

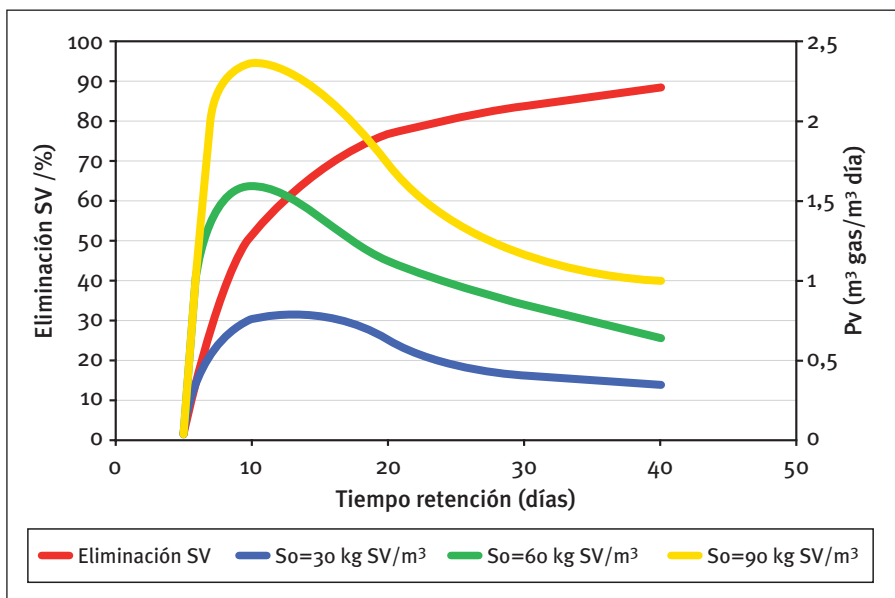


Figura 5. Eliminación de sólidos volátiles, SV (%) y producción volumétrica de gas Pv (m^3 biogás/ m^3 dig-día) para un reactor anaerobio continuo de mezcla completa, en función del tiempo de retención hidráulico. Fuente: GIRO.

- Velocidad de carga orgánica, OLR en inglés. Es la cantidad de materia orgánica introducida por unidad de volumen y tiempo. Valores bajos implican baja concentración en el influente y/o elevado tiempo de retención. El incremento en la OLR implica una reducción en la producción de gas por

unidad de materia orgánica introducida (ver Figura 6), debiendo encontrar un valor óptimo técnico/económico para cada instalación y residuo a tratar.

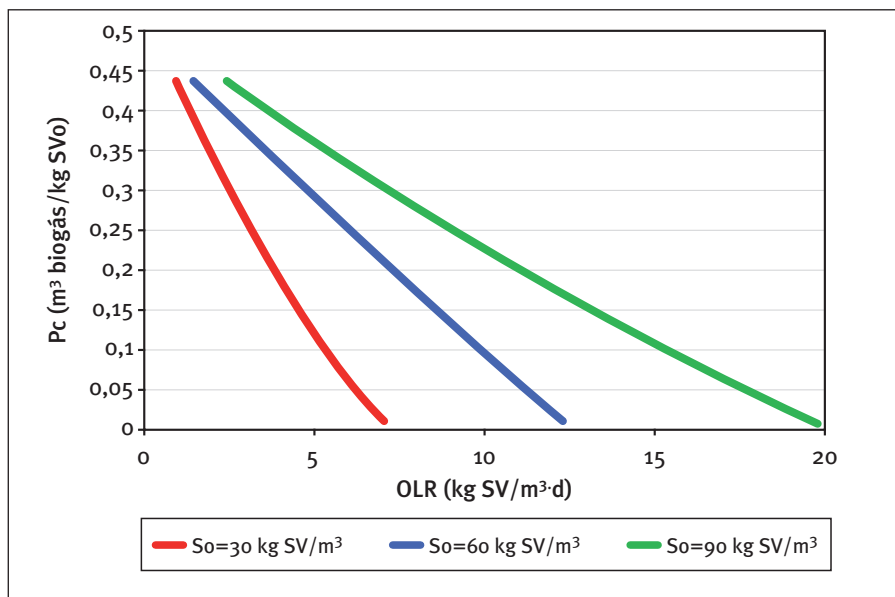


Figura 6. Producción de gas por unidad de carga en función de la velocidad de carga orgánica (OLR), para los datos de la Figura 5. Fuente: GIRO.

3.2 POTENCIALES Y RENDIMIENTOS

La producción de metano o biogás que se obtendrá de un residuo determinado depende de su potencial (producción máxima), del tiempo de retención, de la velocidad de carga orgánica, de la temperatura de operación y de la presencia de inhibidores. En la Tabla 2 se indican valores clásicos de la bibliografía para deyecciones ganaderas. En ésta se aprecia el efecto negativo del nitrógeno amoniacal, sobre todo en régimen termofílico. Una variable adicional en el sector ganadero es el tiempo de almacenaje de los purines antes de su digestión. Tiempos de almacenaje superiores a 3 meses pueden reducir su potencial de producción en más del 70% (Bonmatí *et al.*, 2001), ya que durante el almacenaje tiene lugar un proceso de fermentación incontrolado con emisión del metano a la atmósfera.

Referencia	Substrato	T ^a	OLR	TR	NH ₄ ⁺	Pc			
Angelidaki y Ahring, 1993	Estiércol bovino	55	3.00	15	1.5	0.2			
					4	0.05			
					6	0.05			
					2.5	0.2			
					3	0.2			
					5	0.15			
Robbins et al., 1989	Estiércol bovino	37	2.63	16	0.7	0.20			
					4.2	0.16			
					1.4	0.21			
					2.8	0.08			
					1.04	0.49			
					2.64	0.54			
Hashimoto , 1986	Estiércol bovino	35	4.44	9	4.33	0.40			
					6.08	0.51			
					7.74	0.09			
					9.12	0.40			
					7.76	0.30			
		55	8	5	4.36	0.30			
					4.38	0.30			
					5.4	0.29			
					5.37	0.28			
					37	3.00	15	5.9	0.19
Hansen et al., 1998	Purín de cerdo	55	3.00	15	6	0.14			
					6	0.07			
					6.1	0.02			
					37	3.0	15	5.9	0.19
					55	3.0	15	6	0.07

Referencia	Substrato	Tª	OLR	TR	NH ₄ ⁺	Pc
Hill et al., 1987	Purín de cerdo	35	3.56	10		0.30
			5.71	10		0.26
			6.86	10		0.28
			8.03	10		0.02
Van Velsen, 1979	Purín de cerdo	30	4	15	2.68	0.32
			4	15	2.75	0.33
			2.7	15	2.68	0.32
				15	2.75	0.33

Tabla 2. Producción de metano respecto a sólidos volátiles añadidos (Pc) en m³ CH₄/kg SVo, de residuos ganaderos en función de la temperatura (Tª), velocidad de carga orgánica (OLR) en kg SV/m³-d, tiempo de retención (TR) en días, y nitrógeno amoniacal, en g N/L. Fuente: GIRO.

Una producción específica relativamente alta para purines (por ejemplo 0,36 m³ CH₄/kg SVo) implica una producción de 12.6 m³ CH₄/t de purines si estos contienen un 5% de sólidos totales con un 70% de volátiles. En general, las deyecciones ganaderas presentan producciones bajas por su elevado contenido en agua.

Para la fracción orgánica de residuos municipales (FORM), la producción de biogás depende del origen y pretratamiento. Así, la recogida en bruto de los residuos municipales y la separación mecánica de la fracción orgánica se traduce en pérdida de materia orgánica biodegradable y reducción del potencial de producción de metano. En la Tabla 3 se ilustra la diferencia de rendimientos de producción en función del origen.

Es interesante el análisis comparativo de 18 instalaciones realizado por Hartmann (2003), presentado de forma simplificada en la Figura 6. En ésta se comprueba que para cargas bajas (< 6 kg SV/m³-d), las mayores producciones se obtienen para un sistema húmedo (concentración de sólidos inferior al 15%) y termofílico. Se comprueba, asimismo, que la tendencia que se observa es la predicha por la Figura 6: para concentraciones de sustrato bajas, pequeñas variaciones en la carga producen elevadas variaciones en la producción de biogás (digestión húmeda). Para concentraciones elevadas (digestión seca, concentración de sólidos superior al 20%), el sistema es más estable. Hartmann (2003) concluye, también, que de forma general, los procesos termofílicos presentan transformaciones en biogás más elevadas, que los sistemas de digestión seca son mejores para cargas superiores a 6 kg SV/m³-d, y que las producciones son mayores para FORM separada en origen.

Componente	L CH ₄ /kg SVo	Referencia
Residuos de cocina, restaurantes	600-790	Kübler et al, 1999
FORM separada en origen	240-280	Kübler et al, 1999
FORM separada en origen	200-300	Ahring et al, 1992
FORM recogida selectiva	477	Mata et al, 1991
FORM separación mecánica	117-254	Cecchi et al, 1990,1991; citado por Mata (1997)
Papel prensa	84-100	Clarkson, 1999

Tabla 3. Algunas referencias de producción de metano de la fracción orgánica de residuos municipales, o de sus componentes. Fuente: Hartmann, 2003 y GIRO.

Nótese, en la Figura 7, que la producción de biogás aumenta conforme disminuye la carga orgánica, siendo el valor límite el potencial máximo. Este valor máximo depende de la composición de la materia orgánica. El valor máximo se encontraría alrededor de 900 m³ biogás/t de sólido volátil. Si se considera un valor medio del potencial de producción de 400 m³ CH₄/t SV, con un biogás de un 65% de CH₄, este potencial representaría el 68% del contenido energético del residuo.

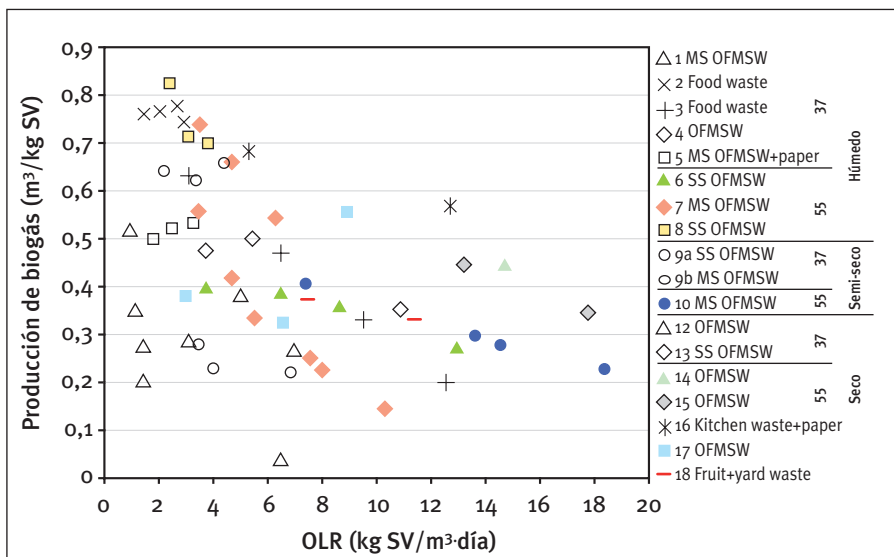


Figura 7. Producción de biogás vs. velocidad de carga orgánica (OLR) para diferentes instalaciones tratando la fracción orgánica de residuos municipales (OFMSW). SS: separación en origen; MS: separación mecánica. Fuente: Hartmann, 2003 y GIRO.

Los residuos orgánicos de la industria alimentaria presentan potenciales de producción variables, pero usualmente elevados cuando contienen un elevado contenido en lípidos. En la Tabla 4 se indican producciones de biogás relativas a residuos en bruto, notándose la elevada producción para los aceites vegetales y la baja producción para los lodos residuales de plantas depuradoras, básicamente por su baja concentración en materia orgánica (alto contenido en agua). Notar que los valores relativos para lodos de depuración son del orden de 0,55 m³ biogás/kg SV.

Tipo	Contenido orgánico	Sólidos volátiles (%)	Producción de biogás (m ³ /tonelada)
Intestinos + contenidos	Hidratos de carbono, proteínas, lípidos	15-20	50-70
Fangos de flotación	65-70% proteínas, 30-35% lípidos	13-18	90-130
BBO (tierras filtrantes de aceites, con bentonita)	80% lípidos, 20% otros orgánicos	40-45	350-450
Aceites de pescado	30-50% lípidos	80-85	350-600
Suero	75-80% lactosa, 20-25% proteínas	7-10	40-55
Suero concentrado	75-80% lactosa, 20-25% proteínas	18-22	100-130
Hidrolizados de carne y huesos	70% proteínas, 30% lípidos	10-15	70-100
Mermeladas	90% azúcares, ácidos orgánicos	50	300
Aceite soja/margarinas	90% aceites vegetales	90	800-1000
Bebidas alcohólicas	40% alcohol	40	240
Fangos residuales	Hidratos de carbono, lípidos, proteínas	3-4	17-22
Fangos residuales concentrados	Hidratos de carbono, lípidos, proteínas	15-20	85-110

Tabla 4. Potenciales de producción de biogás de algunos residuos orgánicos de la industria alimentaria. Fuente: Angelidaki y Ahring, 1997 y GIRO.

Los lodos de depuración presentan valores de producción de metano variables en función de su origen. Así, lodos de matadero presentan producciones máximas de metano de $0,45 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{kg SV}$, mientras que si estos son concentrados por centrifugación, con uso de floculantes, se reduce su potencial a $0,34 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{kg SV}$ (Flotats, 2005). Los lodos de plantas depuradoras biológicas de aguas residuales urbanas presentan valores más bajos, del orden de $0,33 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{kg SV}$ en régimen mesofílico y de $0,36$ en régimen termofílico (Palatsi et al., 2006), variando en función de la edad del fango y su contenido en lodos primarios o secundarios.

3.3 CO-DIGESTIÓN ANAEROBIA

La co-digestión consiste en el tratamiento conjunto de residuos orgánicos diferentes con el objetivo de:

- 1 Aprovechar la complementariedad de las composiciones para permitir perfiles de proceso más eficaces.
- 2 Compartir instalaciones de tratamiento.
- 3 Unificar metodologías de gestión.
- 4 Amortiguar las variaciones temporales en composición y producción de cada residuo por separado.
- 5 Reducir costes de inversión y explotación.

El término co-digestión se utiliza para expresar la digestión anaerobia conjunta de dos o más sustratos de diferente origen. La ventaja principal radica en el aprovechamiento de la sinergia de las mezclas, compensando las carencias de cada uno de los sustratos por separado. La co-digestión de residuos orgánicos de diferente origen ha resultado una metodología exitosa tanto en régimen termofílico como mesofílico.

Se han conseguido buenos resultados para mezclas de residuos ganaderos con varios tipos de residuos de la industria de carne y mataderos, ricos en grasas, consiguiendo altas producciones de metano, del orden de $47 \text{ m}^3/\text{t}$ de residuo introducido. También se han conseguido buenos resultados con la co-digestión de lodos de depuradora y la fracción orgánica de residuos municipales, la mezcla de estos últimos con aguas residuales urbanas, y la co-digestión de fangos de depuradora y residuos de frutas y verduras. Los residuos urbanos e industriales acostumbran a contener altas concentraciones de materia orgánica fácilmente biodegradable, por lo cual presentan un mayor potencial de producción de biogás que los residuos ganaderos.

Sin embargo, estos residuos pueden presentar problemas en su digestión, como deficiencia en nutrientes necesarios para el desarrollo de microorganismos anaerobios, baja alcalinidad o excesivo contenido en sólidos que provoquen problemas mecánicos. Los residuos ganaderos pueden ser una buena base para la co-digestión ya que, generalmente, presentan un contenido en agua elevado, una alta capacidad tampón y aportan una amplia variedad de nutrientes necesarios para el crecimiento de microorganismos anaerobios.

En la Tabla 6 se indican las características relativas para la co-digestión. Flechas de sentidos diferentes indican un posible interés en la mezcla, al compensarse la carencia relativa de uno de los dos residuos. La alcalinidad de lodos de planta depuradora presenta tal variabilidad que es difícil su caracterización relativa.

La co-digestión no debe esconder prácticas de dilución de contaminantes, tales como metales pesados. El control de la calidad de los residuos de entrada a una planta de co-digestión colectiva es más factible que en una planta individual en una granja, donde el ganadero tendrá siempre dificultad en disponer de equipos de laboratorio para realizar comprobaciones rutinarias de composiciones de entrada. Este puede ser un limitante a considerar en un escenario de plantas de co-digestión individuales, a no ser que se restrinja la tipología de residuos a entrar en estas plantas.

	Residuos ganaderos	Lodos depuración	FORM	Residuos industria alimentaria
Micro y macronutrientes	↑	↑	↓	↓
Relación C/N	↓	↑ ↓	↑	↑
Capacidad tampón (alcalinidad)	↑		↓	↓
Materia orgánica biodegradable	↓	↑ ↓	↑	↑

Tabla 6. Caracterización relativa para la co-digestión de diferentes residuos orgánicos. Fuente: GIRO.

3.4 ACONDICIONAMIENTO DEL SUSTRATO PREVIO A LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

Antes de introducir los residuos orgánicos dentro del reactor hay que realizar una serie de operaciones de acondicionamiento. Dependiendo del tipo de reactor, el grado de pretratamiento será diferente. La finalidad de estas operaciones es introducir el residuo lo más homogéneo posible, con las condiciones físico-químicas adecuadas al proceso al que va a ser sometido, y sin elementos que puedan dañar el digestor.

La forma de acondicionar los residuos de entrada puede ser por pretratamientos, reducción del tamaño de partícula, espesamiento, calentamiento, control de pH, eliminación de metales y eliminación de gérmenes patógenos.

Cuando se manejan ciertos sustratos, como los purines, es muy importante no almacenar demasiado tiempo, ya que decae muy deprisa la productividad de biogás, al producirse fermentaciones espontáneas.

3.5 GESTIÓN DEL APROVISIONAMIENTO Y DE LOS SUBPRODUCTOS

Para que una planta de digestión anaerobia sea rentable es imprescindible la garantía en el suministro de materia prima, tanto en tiempo como en calidad. Además, es muy importante la homogeneidad del sustrato a la entrada del reactor, para conseguir una eficiencia y rendimiento elevado de biogás. Por ejemplo, en plantas de purines, pobres en materia orgánica, y para conseguir la rentabilidad, es necesario el aprovechamiento de los efluentes de algún proceso, como por ejemplo los lodos de espesado, bien como salen o con un tratamiento posterior.

Los subproductos de la digestión anaerobia son agua y digestato (sólido); para su posterior uso hay que tener en cuenta la legislación en materia de vertidos y las composiciones de los efluentes del proceso. Muchas veces no se pueden utilizar tal y como salen del digestor, por lo que se ha de aplicar una serie de tratamientos como decantación/sedimentación, secado, para su posterior utilización para riego, fertilización de campos o venta como compost.

4 Tecnologías de digestión anaerobia

Los diseños utilizados para digestión anaerobia pueden clasificarse en función de su capacidad para mantener altas concentraciones de microorganismos en el reactor, siguiendo diferentes métodos. El reactor más simple es el de mezcla completa (RMC, CSTR en inglés), y es el más utilizado para residuos.

4.1 REACTOR DE MEZCLA COMPLETA SIN RECIRCULACIÓN

Consiste en un reactor en el que se mantiene una distribución uniforme de concentraciones, tanto de sustrato como de microorganismos (ver Figura 8.a). Esto se consigue mediante un sistema de agitación. Ésta puede ser mecánica (agitador de hélice o palas, de eje vertical u horizontal) o neumática (recirculación de biogás a presión), y nunca violenta. Esta tipología de reactor no ofrece problemas de diseño y es el más utilizado para residuos. Comparativamente a otros reactores, el tiempo de retención necesario es alto, debido a que la concentración de cualquier especie, que se mantiene en el reactor en régimen estacionario, es la misma que la que se pretende en el efluente. Si la velocidad de reacción depende de la concentración, como es el caso de los procesos biológicos, la velocidad será baja, y la forma de compensarla es aumentando el tiempo de reacción.

4.2 REACTOR DE MEZCLA COMPLETA CON RECIRCULACIÓN

Este sistema tiene el nombre de reactor anaerobio de contacto y sería equivalente al sistema de fangos activos aerobios para el tratamiento de aguas residuales (ver Figura 8.b).

Se comprueba que regulando la recirculación es posible conseguir tiempos de retención hidráulica más bajos que en un reactor simple de mezcla completa. Esto es a costa de aumentar el tiempo de retención de los microorganismos, gracias a su confinamiento en el sistema mediante la separación en el decantador y recirculación. Debido a la necesaria separación de microorganismos en el decantador, este sistema sólo es aplicable a aguas residuales de alta carga orgánica (aguas residuales de azucareras, cerveceras, etc.), para las que sea posible una separación de fases líquido-sólido, con la fracción sólida consistente básicamente en flóculos biológicos. Antes del decantador se debe disponer de un sistema de desgasificación, sin el cual la decantación se puede ver impedida.

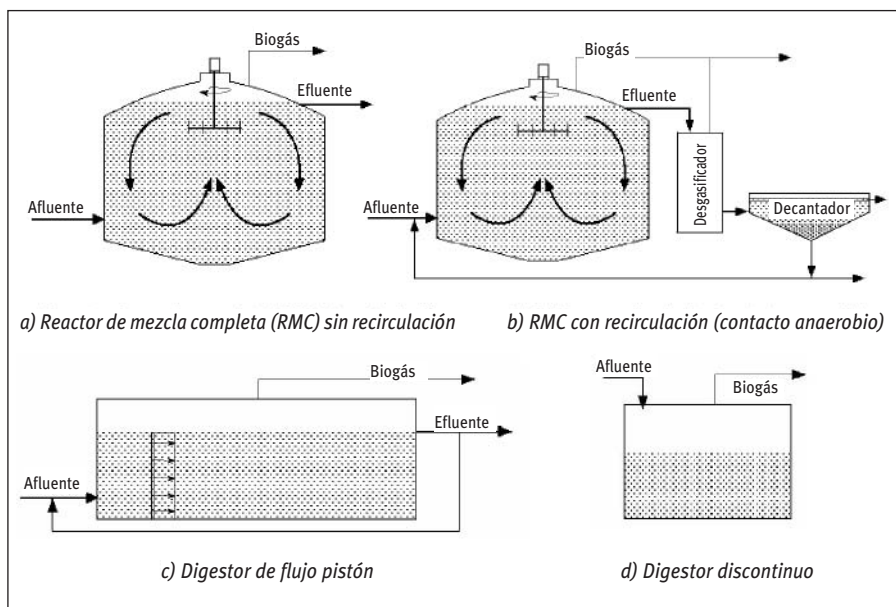


Figura 8. Esquema de reactores sin retención interior de biomasa. Fuente: GIRO.

4.3 REACTOR CON RETENCIÓN DE BIOMASA, SIN RECIRCULACIÓN

Si se consigue retener bacterias en el interior del reactor, evitando la configuración de reactor de mezcla completa, es posible reducir el tiempo de retención por debajo del reactor RMC tomado como referencia. Los métodos de retención de biomasa son básicamente dos:

- a) inmovilización sobre un soporte (filtros anaerobios y lechos fluidizados);
- b) agregación o floculación de biomasa y su retención por gravedad (reactores

de lecho de lodos). Estos sistemas se esquematizan en la Figura 9 y se comentan a continuación.

Aunque los reactores de flujo pistón (Figura 8.c) no estarían encuadrados en este apartado, el hecho de que la tasa de crecimiento de microorganismos sea más elevada a la entrada del reactor, donde la concentración de sustrato también es más elevada, hace que la concentración media en el reactor sea superior a la correspondiente a mezcla completa, o en todo caso superior a la de salida, con lo cual el tiempo de retención será inferior. Este tipo de reactor ha sido aplicado a diferentes tipos de residuos orgánicos, como fracción orgánica de residuos municipales (configuración vertical y flujo ascendente), residuos de porcino y bovino, y una de las dificultades es la debida a la falta de homogenización en la sección transversal a la dirección del flujo, en las configuraciones horizontales, lo cual se puede evitar mediante un sistema de agitación transversal (reintroducción de biogás a presión en la base del digestor si el reactor es horizontal, por ejemplo).

El filtro anaerobio. En este sistema las bacterias anaerobias están fijadas a la superficie de un soporte inerte —formando biopelículas—, columna de relleno, o atrapadas en los intersticios de éste, con flujo vertical. El soporte puede ser de material cerámico o plástico. Su distribución puede ser irregular (filtro anaerobio propiamente dicho, con flujo ascendente, Figura 9.b), y en este caso las bacterias se encuentran mayoritariamente atrapadas en los intersticios, o regular y orientado verticalmente, y en este caso la actividad es debida básicamente a las bacterias fijadas, recibiendo el nombre de lecho fijo con flujo descendente (Figura 9.a). En caso de utilizar un soporte orientado verticalmente con flujo ascendente y un sustrato lentamente degradable, con elevado tiempo de retención, la retención por sedimentación de los fragmentos de biopelícula desprendidos adquiere un efecto de importancia en la actividad del reactor.

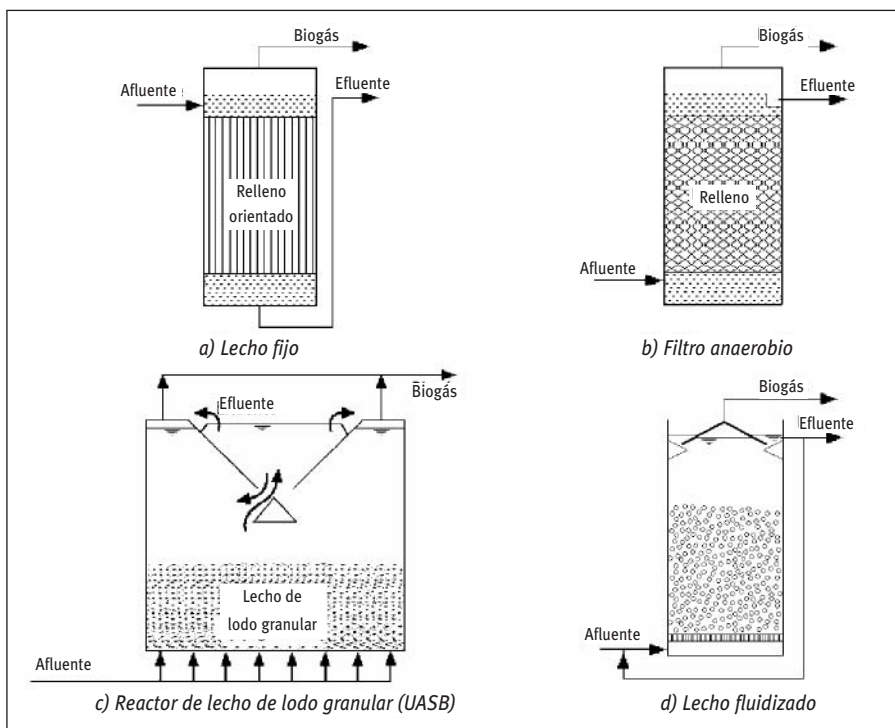


Figura 9. Esquema de reactores con retención interior de biomasa. Fuente: GIRO.

Este sistema ha sido extensamente aplicado para el tratamiento de aguas residuales de industria agroalimentaria, y existen experiencias piloto para la fracción líquida de residuos ganaderos. El coste de inversión es un limitante importante para su implantación.

El lecho fluidizado. En este sistema las bacterias se encuentran fijadas, formando una biopelícula, sobre pequeñas partículas de material inerte que se mantienen fluidizadas mediante el flujo ascendente adecuado del fluido. Para mantener el caudal adecuado, que permita la expansión y fluidización del lecho, se recurre a la recirculación (Figura 9.d). Igual que el filtro, puede ser aplicado a aguas residuales, especialmente de la industria agroalimentaria, y a fracciones líquidas o sobrenadante de residuos ganaderos, aunque las experiencias en este ámbito son muy limitadas.

El reactor de lecho de lodos. En este sistema se favorece la floculación o agregación de bacterias entre ellas, formando gránulos o consorcios, de forma que por sedimentación se mantienen en el interior del reactor, con la velocidad

ascendente adecuada del fluido, siempre que en la parte superior exista un buen separador sólido(biomasa)/líquido/gas. El diseño más común es el *Up-flow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB), Figura 9.c, el cual está siendo extensamente aplicado al tratamiento de aguas residuales de la industria agroalimentaria. Es el diseño más simple de entre los sistemas con retención de biomasa y el único limitante para su aplicación es que la biomasa activa granule, esto es, que forma agregados de alta densidad. Para ello es determinante la composición del agua a tratar y mantener una operación adecuada.

4.4 SISTEMAS DISCONTINUOS

En un sistema discontinuo, la curva de evolución temporal de la producción de biogás sigue la misma tendencia que la curva típica del crecimiento de microorganismos (latencia, crecimiento exponencial, estacionalidad y decrecimiento). Aquí el concepto de tiempo de retención no tiene sentido y se hablaría de tiempo de digestión.

Para conseguir una producción de biogás cercana a la continuidad deben combinarse varios reactores discontinuos con puestas en marcha intercaladas en el tiempo.

Estos reactores han sido aplicados a residuos con una alta concentración de sólidos que dificultan la adopción de sistemas de bombeo, tales como residuos de ganado vacuno con lecho de paja.

4.5 OTROS SISTEMAS

Los reactores anteriores pueden ser combinados para conseguir sistemas más eficientes, según el tipo de residuo a tratar.

4.5.1 Sistemas de dos etapas

Estos consisten en un primer reactor con elevado tiempo de retención, en el cual se favorece la hidrólisis, seguido de un reactor de bajo tiempo de retención que digiere la materia orgánica disuelta y los ácidos producidos en la primera etapa. Si la primera etapa consiste en un reactor discontinuo, el líquido tratado en la segunda es el obtenido por percolación en la primera una vez recirculado el efluente de la segunda. Este sistema permite mantener fácilmente la temperatura en el reactor discontinuo, controlando la temperatura del efluente del segundo reactor. Ha sido aplicado con éxito para tratar residuos sólidos cuya etapa limitante es la hidrólisis: frutas, verduras, residuos sólidos urbanos, de ganado vacuno, etc.

4.5.2 Sistemas de dos fases

A diferencia de los sistemas de dos etapas, la separación de fases se refiere a mantener dos reactores en serie, en los cuales se realizan, respectivamente, las fases de acidogénesis y metanogénesis, y su objetivo es conseguir un tiempo de retención global inferior al correspondiente a un único reactor de mezcla completa. La separación es de tipo cinético, controlando el tiempo de retención de cada reactor, el cual será inferior en el primero, debido a las más altas tasas de crecimiento de las bacterias acidogénicas. Este tipo de sistema ha sido aplicado con éxito a la digestión de residuos con alta concentración de azúcares y bajo contenido en sólidos, pero no para residuos con fibras y, en general, sustratos complejos cuyo limitante es la hidrólisis.

Sistemas híbridos. En general serán sistemas que combinen los conceptos que sustentan los diferentes tipos de reactores descritos. Los dos sistemas anteriores podrían considerarse como tales. También se han realizado diseños de reactores con retención de biomasa híbridos, en los cuales la parte baja de éste se comporta como un UASB y la parte superior como un filtro.

5 Producción eléctrica con biogás

5.1 ESTADO DEL ARTE

Con independencia del grado de madurez de las tecnologías de aprovechamiento energético del biogás, se indican los rangos de potencia en que aquéllas pueden ser más adecuadas.

Tecnología	MCIA ¹	Micro-turbina	Turbina de gas	Stirling	Pilas de combustible
Tamaño (MW)	0,03 a 6	0,001 a 0,4	0,5 a 30	0,0250 a 0,055	0,1 a 3
Coste de instalación (€/MW)	560.000 a 965.000	950.000 a 1.350.000	325.000 a 725.000	900.000 a 1.600.000	3.200.000 a 4.000.000
Costes de O&M (€/MWh)	6,2 a 16	6,4 a 12	3,2 a 8	4 a 6,4	1,5 a 12,3
Eficiencia sobre PCI (%)	30 a 42	14 a 30	21 a 40	30	26 a 50

Tabla 7. Tecnologías utilizadas para la valorización del biogás: rango de potencias, coste de instalación y operación y mantenimiento y eficiencia sobre el poder calorífico inferior. Fuente: CIRCE.

¹ Motores de Combustión Interna Alternativos

5.2 MARCO LEGAL. RD 661/2007

Información más detallada respecto a la venta de electricidad procedente del biogás en régimen especial se incluye en el documento de “Producción eléctrica y Cogeneración con Biomasa”. Bajo este epígrafe se relacionan de forma muy somera los conceptos, requisitos, primas, precios y complementos relativos.

Las principales novedades del actual marco de retribución de producción eléctrica en régimen especial, respecto al anterior, se podrían resumir en que la retribución (opción mercado y tarifa) mejora entre el 16% y el 40% si el combustible es biogás. En lo referente al fomento de la cogeneración, la mejora en la tarifa regulada empleando biogás supone del 26% al 81%.

Para la venta de la energía eléctrica exportada a la red se puede elegir entre:

- Tarifa regulada: la componente principal del precio es fija, a la que se aplican una serie de complementos.
- Mercado de energía eléctrica: el precio va siguiendo el precio de la electricidad hora a hora en el mercado, incrementado en una determinada prima y una serie de complementos.

El RD 661/2007 organiza las tecnologías de producción eléctrica por grupos, atendiendo en primer lugar a si se produce electricidad y calor de forma combinada (cogeneración) o no, después atiende a la fuente empleada, cuando sólo se produce energía eléctrica (resto de los grupos).

También se considera la potencia máxima entregable, mejorando la retribución de las plantas más pequeñas.

De forma resumida, los precios de venta de electricidad se forman como sigue:

- OPCIÓN 1. Tarifa regulada única: $PFT = Ptr + CR + DH - Des$, y
- OPCIÓN 2. Mercado: $PFM = PMD + P + GP + CR + Cef - Des$, siendo:

PFT = Precio final opción a tarifa; Ptr = Precio tarifa base;

PFM = Precio final opción a mercado; PMD = Precio mercado diario; P = Prima correspondiente; DH = Discriminación horaria; GP = Garantía de potencia; CR = Complemento por reactiva; Des = Coste del desvío.

La prima sólo se otorga a las instalaciones que venden su electricidad en el mercado. La prima consiste en una cantidad adicional al precio que resulte en el mercado organizado.

En el caso de plantas en las que el biogás no sea el único combustible, o coexista con biomásas encuadradas en diferentes grupos, la retribución de cada una de ellas se hará atendiendo a la energía aportada por cada una de las fuentes, en función de la masa y del poder calorífico inferior (kWh/kg) de cada una.

Si el biogás se hibrida con la solar termoeléctrica (grupo b.1.2) se tendrá en cuenta, además de la energía primaria, el rendimiento del biogás en la producción eléctrica, y que el aporte anual de la fracción solar sea mayor del 50% de la generación total de la planta.

Los desvíos son las diferencias entre la energía que se programa vender y la que realmente se entrega a la red. A las instalaciones se les repercute el coste de desvío fijado en el mercado organizado por cada período de programación. El coste del desvío, en cada hora, se repercute sobre la diferencia, en valor absoluto, entre la producción real y la previsión.

En general, los importes de las tarifas, primas, complementos y límites inferior y superior del precio horario del mercado para la biomasa y biogás (es decir, para la categoría b), se actualizarán anualmente según el IPC menos:

- 0,25% hasta el 31 de diciembre de 2012,
- 0,50% a partir de entonces.

Los importes de tarifas, primas, complementos y límites inferior y superior del precio horario del mercado que resulten de cualquiera de las actualizaciones contempladas serán de aplicación a la totalidad de instalaciones de cada grupo, con independencia de la fecha de puesta en servicio de la instalación.

Durante el año 2010, según el grado de cumplimiento del Plan de Energías Renovables (PER) 2005-2010 y de la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España (E4), así como de los nuevos objetivos que se incluyan en el siguiente Plan de Energías Renovables para el período 2011-2020, se revisarán las tarifas, primas, complementos y límites inferior y superior definidos ahora, atendiendo a los costes asociados a cada una de estas tecnologías, al grado de participación del régimen especial en la cobertura de la demanda y a su incidencia en la gestión técnica y económica del sistema, garantizando siempre unas tasas de rentabilidad razonables con referencia al coste del dinero en el mercado de capitales. Cada cuatro años, a partir de entonces, se realizará una nueva revisión manteniendo los criterios anteriores.

5.3 PROYECTOS SIGNIFICATIVOS

5.3.1 Planta de co-digestión de Ecologic Biogás

5.3.1.1 Características generales de la planta

Este novedoso proyecto está situado en Vila-sana (Lérida), donde la principal actividad de la zona es la ganadería y la agricultura. Concretamente, la planta está instalada en una explotación de porcino con una capacidad para 600 madres reproductoras, 4.800 plazas de engorde, unos 1.000 lechones y 2.500 plazas para recría.



Interior de la nave de madres de la explotación de porcino.

La clave del éxito de esta planta de biogás se debe al proceso de co-digestión de una mezcla de purines de cerdo con residuos orgánicos de la comarca. El objetivo de esta planta es acabar con el problema de los purines, ya que en dicha explotación se generan aproximadamente 11.500 m³ purines/año, que tradicionalmente han sido aplicados en campo, generando grandes problemas de contaminación de las aguas subterráneas.

Ante el excedente de calor del motor, y ante la inminente instalación de otro sistema gemelo, se está estudiando la posibilidad de emplear el calor para calefactar algunas de las naves de animales (por ejemplo, lechones), para mejorar las condiciones de desarrollo de los animales.

También se piensa aprovechar el calor para mantener caliente un invernadero de productos hortícolas sito en la finca a escasos metros del moto-generador.

Por último, también se va a contemplar la posibilidad de producir frío por absorción para utilizar el calor gratuito en verano y refrigerar las naves, por ejemplo de madres.

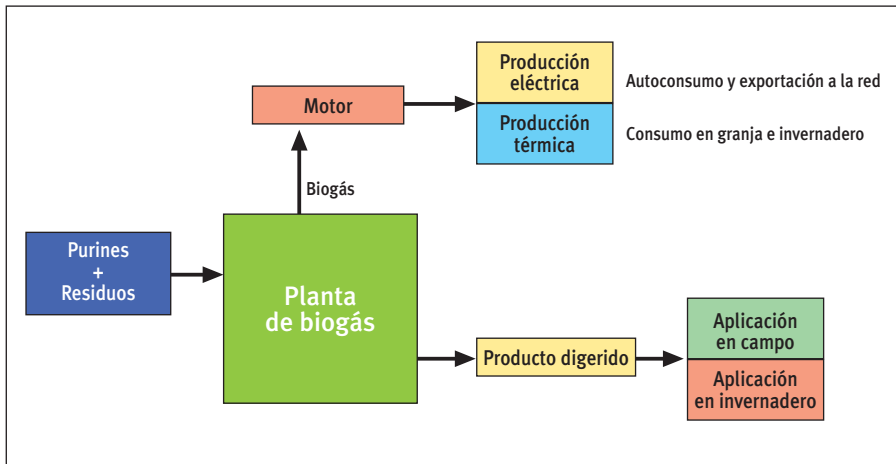


Figura 10. Esquema de funcionamiento de la planta de biogás.

Fuente: ECOLOGIC BIOGÁS.

5.3.1.2 Operación de la planta

El proceso de digestión anaerobia se inicia con la descarga de la materia a procesar en dos depósitos, uno de sólidos y otro de líquidos. Al tratarse de una co-digestión, el material a digerir es una mezcla del purín (70%) de la propia explotación y de otros residuos orgánicos (30%) de la zona, como derivados de alcohol, derivados de aceites vegetales, lodos de depuradora de aguas industriales, derivados de frutas, cebolla y leche. Concretamente trata un volumen de 11.500 m³/año de purines y 4.300 t/año de residuos orgánicos.

La potencia eléctrica extraíble de la planta se estima en 380 kW, si bien sería necesario instalar otro motor de potencia equivalente al existente.



Descarga de residuos orgánicos en la planta.

Desde los depósitos, la materia mezclada en las proporciones adecuadas pasa a la planta de digestión formada por dos digestores anaerobios que trabajan en serie. El primero es el principal y el segundo es de apoyo. Cada digestor tiene un volumen útil de 1.270 m^3 que totalizan 2.540 m^3 . Los productos de este proceso son, por un lado biogás y, por el otro, biomasa digerida. El biogás es introducido en un motor de combustión interna generando energía eléctrica para autoconsumo y exportación a la red. La biomasa digerida será para la aplicación en campo o invernadero.



Planta de co-digestión.

5.3.1.3 Resultados de funcionamiento

La operación de la planta es progresiva y actualmente los digestores no están trabajando al máximo rendimiento. Trabaja con 9.000 m³/año de purines y 2.200 t/año de residuos orgánicos, generando una producción de biogás aproximada de 800.000 m³/año. El motor instalado funciona las 24 horas del día, a plena capacidad, dando lugar a:

- Producción eléctrica de 191 kW, que resulta en unos 1.528.000 kWh/año.
- Producción térmica de 214 kW, es decir, unos 1.712.000 kWh/año.

Con un incremento de la alimentación hasta el máximo de capacidad de los digestores se producirá prácticamente el doble de biogás y, por tanto, de electricidad y de calor.

La inversión realizada hasta el momento ha sido de 1.080.000 €, con una subvención pública del 40%. En un futuro cercano la idea es ampliar la instalación con un segundo equipo de cogeneración, que supondrá una inversión de 300.000 €.

Hacer una inversión en una planta de estas características supondrá conseguir unos ingresos fijos derivados de la actividad ganadera, debido a la venta de energía eléctrica a la red y un aprovechamiento térmico para la propia explotación. Según Ángel Porta, gerente de Ecologic Biogás, la amortización de dicha inversión se realizará a los 5-6 años.

Además de los beneficios económicos ya mencionados, este proyecto es una solución medioambiental para los residuos de la zona, ya que se reduce la carga de olor 95 veces respecto al purín fresco, y este biofertilizante es más homogéneo, los nutrientes están más mineralizados y la absorción por los cultivos es mejor. De esta manera, se consigue menor uso de fertilizantes de origen químico y menor contaminación de suelos y aguas.

La planta la maneja y opera una sola persona, que dedica de tres a cuatro horas diarias. Sus tareas son:

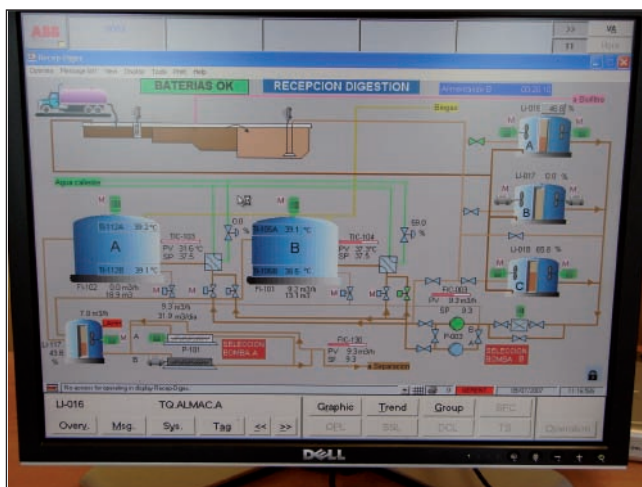
- Supervisar las descargas de residuos desde el exterior, es decir, los que provienen de fábricas vecinas.
- Preparar una mezcla adecuada de sólidos/purines con la que alimentar al proceso de biodigestión.
- Supervisar la cantidad de aire que se introduce a los gasificadores y, en su caso, reajustarla.
- Supervisar el funcionamiento del grupo moto-alternador. Esta tarea se puede realizar a distancia a través de una conexión GSM.

5.3.2 Planta de tratamiento de purines de Tracjusa

5.3.2.1 Características generales

La planta de TRACJUSA está localizada en el término municipal de Juneda (Lérida), y aplica el proceso registrado VALPUREN para el tratamiento de purines de la comarca circundante. Recibe y procesa los purines excedentes de 180 ganaderos asociados.

Estos ganaderos han organizado un plan de gestión conjunto que engloba el de todos los purines que se generan en la comarca, distribuyéndolos a los terrenos agrícolas y a las dos plantas de tratamiento de la comarca de Les Garrigues. Del purín total que se produce en la comarca, el 50% se trata en las plantas y el resto se aplica como fertilizante. Un 90% lo gestiona la unión de ganaderos y el resto los ganaderos por su cuenta, pero reportando a la asociación. Esto es fundamental para el éxito de la gestión del aprovisionamiento de purines de la planta.



Pantalla del sistema de monitorización y control. Área de recepción y digestión.

Las ventajas de este proceso son:

- Resuelve de raíz el problema de los purines excedentes a coste asumible por el ganadero.
- Recupera más del 95% del N contenido en el purín y prácticamente todo el P y K.

- La biodigestión elimina el mal olor del purín, por lo que no hay emisiones de olores que produzcan molestias a la vecindad.
- Mediante la biodigestión se recupera el contenido energético del purín en forma de biogás, por lo que se reduce el consumo y la factura de gas natural.

Las principales características de la planta son:

- Capacidad de tratamiento: 100.000 t/año.
- Potencia eléctrica de generación: 16,3 MW (5-8% procedente del biogás y resto de gas natural).
- Producción de fertilizante: 6.000 t/año, con una composición N-P-K de 8-4-6, y 60% de materia orgánica.

Los ingresos de la planta se generan por tres vías:

- 97% Electricidad.
- 2% Fertilizante peletizado.
- 1% Canon de tratamiento y gestión.

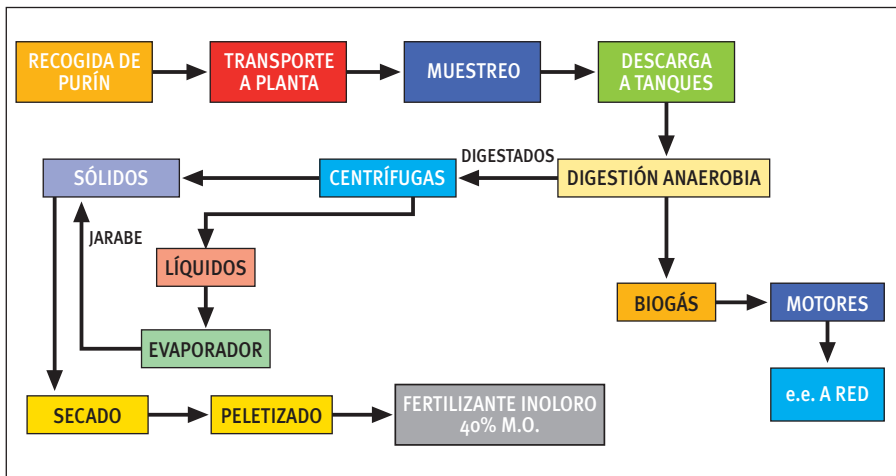


Figura 11. Esquema de funcionamiento de la planta de TRACJUSA.

5.3.2.2 Funcionamiento

El proceso comienza cuando el purín es transportado desde las granjas, y llega a la planta en camiones o en tractores con cisterna. Los vehículos son pesados en una báscula, descargan (300 m³/h), y vuelven a la báscula para calcular el

purín descargado. Antes de la salida, el vehículo se desinfecta si va a otra granja distinta, para evitar la transmisión de posibles infecciones o enfermedades.



Transporte de purín a la planta y tanques de almacenamiento.

Una vez descargado el purín, este pasa a uno de los tres tanques de almacenamiento; de ahí pasan a los digestores (digestión anaerobia). Los digestores, de 3.000 m³ trabajan a 37,5 °C, con un tiempo de retención de 21 días. Además del biogás, que se almacena en un gasómetro antes de su empleo en el motor, los productos de la digestión son:

- El digestato, que se concentra por centrifugación, dando lugar a un 25-30% de fracción sólida y el resto de fracción líquida.
- La fracción líquida, que se neutraliza con ácido sulfúrico (H₂SO₄), para la fijación del nitrógeno amoniacal, y luego pasa a un evaporador, donde el agua extraída se reutiliza como agua de aportación a las torres de refrigeración de la planta, en tanto que el jarabe se une al lodo centrifugado.



Digestores de la planta de tratamiento de purines de TRACJUSA.

Después, se realiza un secado indirecto de la mezcla en un secadero, que produce vapor de agua y fertilizante en polvo. Este último se peletiza y tiene un N-P-K 8-4-6 y 60% de materia orgánica. Dicho abono es vendido a un precio del orden de 40-45 €/t (FOB) aproximadamente.

La demanda térmica de la planta supera con creces la producción de biogás. Por eso, la unidad de cogeneración de la planta se alimenta con la mezcla de biogás producido en los digestores y gas natural. La cogeneración está constituida por 6 motores de 2,7 MW cada uno.



Motores para la generación de energía eléctrica.

El agua de refrigeración de camisas se aprovecha para calentar los digestores a una temperatura aproximada de $37,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y para concentrar la fracción líquida neutralizada. A su vez, los gases de combustión pasan a la caldera de vapor y de ahí van a la chimenea sin haber entrado en contacto con el purín, por lo que no aportan contaminación del mismo a la atmósfera.

El vapor se utiliza para secar la mezcla del lodo centrifugado y del concentrado de la fracción líquida neutralizada, obteniéndose un polvo fertilizante que se pelletiza para su comercialización.

5.3.2.3 Conclusiones

A la vista de la baja producción de biogás, que se debe a la poca capacidad del purín como generador del mismo, se están utilizando otros residuos como co-sustratos que permiten aumentar la producción de biogás.

Los resultados de las pruebas de producción de biogás sin o con co-digestión son contundentes:

- Sólo purines: 12 N/m³ biogás/m³ de sustrato
- Purines con cosustratos hasta el 10%: 15-25 N/m³ biogás/m³ de sustrato

También es de gran interés, por su impacto en la productividad de biogás, que el purín llegue a la planta lo más fresco posible, es decir, que haya transcurrido el menor tiempo posible desde su deposición. Por ejemplo, cuanto más tiempo se almacena en una granja, menos biogás se puede producir con él, hasta el extremo de que un almacenamiento de 2 meses reduce la productividad de biogás en un 75%. La biodigestión de purín fresco en la planta evita las emisiones de efecto invernadero en las balsas de almacenamiento de las granjas, ya que el metano emitido en las mismas tiene un efecto invernadero 21 veces mayor que el del CO₂, que se emite en la combustión de dicho metano en la planta.

El tratamiento del purín aplicando digestión anaerobia en cabecera produce los siguientes efectos beneficiosos:

- 1 Se eliminan los olores desagradables del purín tanto en su tratamiento como en el fertilizante obtenido.
- 2 Se recupera la energía renovable del purín en forma de biogás con el que se genera electricidad y calor útil, que se utiliza en la concentración y secado del purín.
- 3 Permite la fabricación de un fertilizante orgánico y mineral homogéneo y de buena calidad.

6 Bibliografía y referencias

- CIEMAT. *La Biomasa como fuente de Energía y Productos para la Agricultura y la Industria.*
- CIRCE. *Curso Máster de Energías Renovables.*
- Asociación de Defensa Sanitaria Les Garrigues. *Plan de Gestión de Deyecciones ganaderas.*
- ECOLOGIC BIOGÁS. Ángel Porta. *Plantas de biogás en explotaciones ganaderas.* www.ecobiogas.es
- TRACJUSA, S.A. *Proceso registrado Valpuren.*
- Flotats, X., Bonmatí, A., y Seró, M. Clasificación de tecnologías de digestión anaerobia. *Aplicación al aprovechamiento energético de residuos ganaderos.* Aprovechamiento energético de residuos orgánicos. 1997.
- Flotats, X. y Palatsi, J. *Tecnologías de tratamiento de purines de cerdo.* Nuestra Cabaña 323:48-57. 2003.

IDA Instituto para la
Diversificación y
Ahorro de la Energía

c/ Madera, 8 - 28004 Madrid
Tel.: 91 456 49 00. Fax: 91 523 04 14
comunicacion@ida.es
www.ida.es



P.V.P.: 5 € (IVA incluido)