

# Energía renovable a partir de los residuos de la industria alimentaria: BIOGÁS



## Introducción

La producción de biogás mediante co-digestión anaerobia de residuos agroindustriales ha comenzado su desarrollo en España siguiendo los pasos de otros países europeos como Dinamarca, Alemania, Suecia o Austria. Varias son las razones o factores que explican el creciente interés y justifican el probable desarrollo de esta alternativa en nuestro país:

La existencia en España de una gran cantidad y diversidad de residuos orgánicos biodegradables y que son susceptibles de ser empleados para la producción de biogás (Tabla 1). Cabe recordar que la disposición en vertedero de todos estos residuos es cada día más problemática y costosa debido a la normativa europea (Directiva Europea 99/31/CE) que limita la entrada de materiales orgánicos. Por ello, la producción de biogás constituye una alternativa de valorización sostenible.

Tabla 1. Residuos orgánicos agroalimentarios o similares potencialmente utilizables en una planta de biogás

Agricultura, pesca y ganadería	Industria alimentaria	Otras industrias	Comunidades
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Granjas de porcino, vacuno y de aves.</li> <li>- Explotaciones agrícolas.</li> <li>- Cooperativas agrícolas.</li> <li>- Piscifactorías y acuicultura.</li> <li>- Cultivos energéticos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Conservas.</li> <li>- Zumos.</li> <li>- Cerveza y otras bebidas.</li> <li>- Lácteas.</li> <li>- Cárnicas.</li> <li>- Pescado.</li> <li>- Azucareras.</li> <li>- Almidón.</li> <li>- Ingredientes y aditivos.</li> <li>- EDARIs alimentarias.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Biodiesel.</li> <li>- Bioetanol.</li> <li>- Biorefinerías.</li> <li>- Bioquímica.</li> <li>- Farmacéutica.</li> <li>- Papelera.</li> <li>- Algas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- FORSU.</li> <li>- Hoteles.</li> <li>- Restaurantes.</li> <li>- Catering.</li> <li>- Super e hiper mercados.</li> <li>- Mercados centrales.</li> <li>- Jardines.</li> <li>- Campos de golf.</li> <li>- EDAR urbanas.</li> </ul>

Desde un punto de vista tecnológico, los avances logrados en los últimos años en el desarrollo de técnicas de co-digestión anaerobia, han proporcionado mejoras significativas en la viabilidad de las plantas de biogás agroindustrial respecto a antiguos planteamientos mono-sustrato.

La nueva tarifa aplicable a la venta del kWh obtenido a partir del biogás (Real Decreto 661/2007 de 25 de mayo) constituye uno de los factores más determinantes para el desarrollo del biogás agroindustrial. La tarifa asciende a 0,13 €/kWh (para motores de potencia inferior a 500 kW), lo que supone un incremento significativo con respecto a la tarifa vigente anteriormente.

Por otro lado, otra razón más para apostar por el futuro del biogás son las políticas emergentes para reducir las emisiones de los gases de efecto invernadero. El biogás de origen agroindustrial no solo es efectivo en reducción de GEI por su carácter de energía renovable sino también por su potencial para reducir las emisiones de metano producidas por algunos residuos (principalmente purines).

Por último, cabe destacar que el biogás cuenta con un amplio mercado en el futuro escenario energético ya que tiene diversas aplicaciones. El uso actual más frecuente es la producción de electricidad y calor en motores de co-generación, pero tras ser depurado se puede emplear como combustible para vehículos, inyectar en la red de gas natural y utilizar en pilas de combustible o microturbinas.

Redactado por AINIA

# Energía renovable a partir de los residuos de la industria alimentaria: BIOGÁS



## ¿Qué tipo de materiales se pueden utilizar como sustratos de la digestión anaerobia?

Los residuos orgánicos biodegradables constituyen habitualmente las materias primas o sustratos empleados en la producción de biogás agroindustrial. Estos residuos suelen variar considerablemente en su composición, homogeneidad o biodegradabilidad. A continuación se describen las características a tener en cuenta en un residuo o mezcla de residuos para su valorización energética en forma de biogás:

### - Sólidos Totales / Humedad

La materia seca o sólidos totales (ST) de los residuos agroindustriales puede ser muy variable. Algunos como el lactosuero o los purines pueden tener un 1-5% de ST mientras que otros superan el 20% (Tabla 3). El agua contenida en los residuos no produce biogás y por tanto ocupa un volumen no aprovechado en el digestor. Sin embargo, resulta imprescindible para que el proceso fermentativo se desarrolle adecuadamente a nivel microbiológico. Así pues, debe alcanzarse un equilibrio entre la productividad de biogás asociada al aporte de sólidos y la humedad necesaria para la fermentación. La digestión de residuos agroindustriales se realiza habitualmente por debajo del 15% de ST (vía húmeda). Por otro lado, los residuos con un alto contenido en sólidos pueden crear en el digestor problemas de bombeo, agitación, sedimentación, costras, etc. Por ello los sistemas de incorporación al digestor, mecanismos de agitación, eliminación de sedimentos, deben ser diseñados adecuadamente.

### - Sólidos Volátiles / Biodegradabilidad

El porcentaje de sólidos volátiles respecto al de sólidos totales (% de sólidos volátiles o SV) suele variar entre el 70-95%. Los residuos que tienen un porcentaje inferior al 60% no suelen considerarse buenos sustratos para la digestión anaerobia.

Por otro lado, una buena biodegradabilidad de estos sólidos volátiles es clave para obtener un alto rendimiento de biogás. La Tabla 2 muestra la biodegradabilidad de los principales componentes presentes en los residuos agroindustriales disponibles para producir biogás.

# Energía renovable a partir de los residuos de la industria alimentaria: BIOGÁS



Tabla 2. Biodegradabilidad anaerobia de los principales componentes de los residuos agroindustriales

Componente	Presente en	Biodegradabilidad anaerobia
Azúcares	Remolacha o caña de azúcar. Subproductos de una azucarera o fábrica de golosinas, etc.	Excelente
Almidón	Excedentes de cereales, patatas, etc., subproductos de fábricas de snacks o de almidones, etc.	Excelente
Celulosa	Paja triturada, hierba, pulpas y pieles de frutas y verduras, etc.	Buena
Proteínas	Subproductos animales, productos cárnicos, lácteos, o de la pesca, etc.	Excelente
Grasas	Subproductos de origen animal o vegetal.	Buena 1)
Pesticidas, antibióticos, detergentes	Restos de producción vegetal, estiércol y purines, subproductos de la industria farmacéutica.	Regular
Sales	Salmueras o residuos salinos.	No biodegradable
Arena, piedras	Estiércol, purines, restos vegetales, etc.	No biodegradable
Metales	Residuos de envases.	No biodegradable
Plásticos	Residuos de envases.	No biodegradable

1) Requiere mayores tiempos de retención.

## - Balance C/N

La relación Carbono/Nitrógeno (C/N) de un residuo, o mezcla de residuos, tiene una gran importancia para el proceso fermentativo. Esta relación puede variar entre 6 (ej. deyecciones ganaderas) y más de 500 (ej. madera). Para una degradación óptima se recomienda un ratio 20-25. En la Tabla 3 se muestran ratios representativos para varios residuos agroindustriales.

## - Potencial máximo de producción de biogás y producción real

Cada residuo orgánico tiene asociado un potencial máximo de producción de biogás, existiendo diferencias notables según su composición y grado de biodegradabilidad. El potencial máximo se determina experimentalmente mediante un ensayo discontinuo (o batch) a escala de laboratorio en el que el residuo se biodegrada completamente en condiciones anaerobias controladas. El potencial máximo puede variar

Redactado por AINIA

# Energía renovable a partir de los residuos de la industria alimentaria: BIOGÁS



desde 0,15 hasta 0,90 m<sup>3</sup> de biogás/kg SV. Los residuos ricos en grasas son los que proporcionan altos rendimientos en biogás pero requieren elevados tiempos de retención.

Pero la producción real de biogás de un residuo, o mezcla de residuos, a escala industrial, no solo depende de este potencial máximo, sino también de otros factores como la temperatura, presencia de materiales no deseables y/o sustancias inhibitoras, y sobre todo, del tiempo de retención. El tiempo de retención indica el tiempo medio en el que la mezcla de residuos incorporada al digestor permanece en su interior sometida a la fermentación anaerobia. Se calcula dividiendo el volumen del digestor entre el caudal de alimentación. Por ejemplo, los sustratos de un digestor de 2.000 m<sup>3</sup> alimentado con un caudal de 80 m<sup>3</sup>/día tienen un tiempo de retención de 25 días.

A escala industrial los tiempos de retención se ajustan para aprovechar los picos de producción de biogás, lo que sucede generalmente con porcentajes de eliminación de sólidos volátiles entre el 40 y el 60%. El tiempo de residencia alcanza un valor óptimo en función de criterios técnicos y económicos.

## - Materiales no deseables

Los materiales no deseables pueden crear problemas de separación de fases por su sedimentación o flotación, espumas, etc. Se trata de materiales que suelen acompañar al residuo desde su origen: paja entera, arena, piedras, cristal, metales, materiales plásticos, etc. Una vez introducidos en el digestor son difíciles de retirar por lo que es importante separarlos antes.

## - Sustancias inhibitoras

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 fermentativo. Por ejemplo, la rápida descomposición de moléculas de gran tamaño como los carbohidratos y las grasas características de los residuos agroindustriales incrementa la concentración de ácidos grasos volátiles (AGVs). A determinados niveles los AGVs generan serios problemas de inhibición sobre todo en combinación con niveles bajos de pH. Otros problemas de inhibición son los causados por el amonio (ej. digestión de gallinaza), el ácido sulfhídrico, o los ácidos grasos de cadena larga. Los pesticidas, desinfectantes o antibióticos presentes en algunos residuos también pueden llegar a afectar el proceso según su concentración.

## ¿En qué consiste la co-digestión anaerobia? ¿Qué ventajas tiene?

El tratamiento de dos o más residuos mediante digestión anaerobia se denomina co-digestión anaerobia. Frente a procesos de digestión que emplean un solo sustrato este planteamiento cuenta con importantes ventajas técnicas, medioambientales y económicas:

La co-digestión anaerobia permite aprovechar la complementariedad de la composición de los residuos. El mejor ejemplo es la co-digestión de deyecciones ganaderas y residuos alimentarios. Los residuos ganaderos tienen una reducida concentración de materia orgánica y una baja relación C/N, pero cuentan con una concentración elevada de micro y macronutrientes (básicos para el crecimiento de microorganismos

# Energía renovable a partir de los residuos de la industria alimentaria: BIOGÁS



anaerobios) así como capacidad tampón (alcalinidad) fundamental para evitar procesos de acidificación. Los residuos alimentarios ricos en carbohidratos, proteínas y grasas suelen tener una alta proporción de materia orgánica biodegradable y una alta relación C/N, pero su digestión anaerobia se ve afectada negativamente por la ausencia de micronutrientes y también por problemas de acidificación. Así pues, la mezcla de ambos tipos de residuos da lugar a procesos más estables y con un incremento considerable de la producción de biogás. Por ejemplo, la producción de 10-20 m<sup>3</sup> biogás/T en una digestión anaerobia mono-sustrato con deyecciones ganaderas se podría duplicar incorporando un 20-30% de residuos alimentarios.

Tabla 3. Características y producción de biogás de algunos residuos orgánicos agroindustriales

Residuo	Sólidos Totales ST [%]	Sólidos Volátiles SV [% ST]	C:N	Producción de biogás [m <sup>3</sup> ·kg <sup>-1</sup> SV]	Tiempo de retención [días]	CH <sub>4</sub> [%]	Sustancias NO deseables	Sustancias inhibidoras	Problemas frecuentes
Purín de cerdo	3-81)	70-80	3-10	0,25-0,50	20-40	70-80	virutas de madera, cerdas, arena, cuerdas	antibióticos, desinfectantes	espumas, sedimentos
Estiércol	5-121)	75-85	6-202)	0,20-0,30	20-30	55-75	cerdas, tierra, paja, madera	antibióticos, desinfectantes	espumas
Gallinaza	10-301)	70-80	3-10	0,35-0,60	>30	60-80	piedras, arena, plumas,	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , antibióticos, desinfectantes	inhibición por NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , espumas
Residuos de frutas	15-20	75	35	0,25-0,50	8-20	ND	partes poco biodegradables	AGV, pesticidas	acidificación
Restos de alimentos	10	80	n.a.	0,50-0,60	10-20	70-80	huesos, metales, plásticos	AGV, desinfectantes	acidificación sedimentos, mecánicos
Lactosuero	1-5	80-95	n.a.	0,80-0,95	3-10	60-80	impurezas	-	acidificación
Vinazas	1-5	80-95	4-10	0,35-0,55	3-10	55-75	partículas poco biodegradables	AGV	acidificación
Hojas	80	90	30-80	0,10-0,304)	8-20	ND	tierra	pesticidas	-
Paja	70	90	90	0,35-0,455)	10-505)	ND	arena	-	espumas biodegradabilidad
Madera	60-70	99.6	723	ND	-	ND	NO UTILIZAR	-	biodegradabilidad
Jardinería	60-70	90	100-150	0,20-0,50	8-30	ND	tierra, restos poco biodegradables	pesticidas	biodegradabilidad
Hierba	20-25	90	12-25	0,55	10	ND	piedras, arena, tierra	pesticidas	acidificación

# Energía renovable a partir de los residuos de la industria alimentaria: BIOGÁS



La co-digestión permite integrar la valorización de los residuos orgánicos de una zona geográfica determinada. De este modo conseguimos obtener por un lado una fuente de energía de carácter renovable en forma de biogás, y por otro un subproducto resultante de la fermentación denominado digestato con características de fertilizante orgánico y aplicable en agricultura bajo condiciones controladas. Se trata por tanto de un reciclaje integral que reduce el impacto ambiental de estos residuos (contaminación suelo, agua, olores, etc.). No obstante, hay que recordar que la digestión anaerobia no reduce significativamente la concentración de nitrógeno o de fósforo por lo que es fundamental realizar en todos los casos un balance de nutrientes antes de la aplicación del digestato al campo. En caso de haber zonas vulnerables es imprescindible acudir a técnicas de reducción o recuperación de estos nutrientes.

A nivel económico, el incremento en la producción de biogás se traduce en mayores ingresos por la venta de la electricidad y/o uso del calor producido. Además, la gestión de algunos residuos empleados como co-sustratos puede generar también ingresos. Por otro lado, el hecho de integrar en una sola instalación el tratamiento de todos los residuos de una zona permite ahorrar costes de inversión y operación si lo comparamos con el tratamiento por separado de cada uno de los residuos gestionados.

## ¿Cuáles son las características básicas de los sistemas de co-digestión anaerobia de residuos agroindustriales?

Los sistemas de digestión anaerobia empleados habitualmente para la co-digestión de residuos agroindustriales son los reactores de mezcla completa, también denominados en inglés CSTR (Continuous Stirred Tank Reactor). También se emplean aunque de forma menos frecuente los digestores de tipo horizontal denominados "plug-flow" (flujo pistón).

En general, la alimentación del digestor con material fresco se realiza de forma continua o periódica (ej. diaria). En función del tipo de residuo y su estado puede ser necesario llevar a cabo un pretratamiento. Los pretratamientos más frecuentes son la separación de materiales no biodegradables, la trituración del residuo o tratamientos térmicos con fines higienizantes (ej. pasterización de residuos cárnicos o restos de catering), entre otros.

Como ya se indicó anteriormente, los digestores de residuos agroindustriales suelen trabajar por vía húmeda, es decir, con un porcentaje de sólidos inferior al 15%. En los digestores verticales agitados de mezcla completa, la concentración óptima de sólidos totales suele estar en el rango del 6-10%. En estos digestores la concentración de sólidos y microorganismos es similar durante todo el proceso. Ello se consigue generalmente gracias a una agitación continua a través de hélices o palas. En procesos que trabajan a una baja concentración de sólidos existen también en el mercado sistemas de agitación neumáticos por recirculación del biogás producido. El horizontal o "plug-flow" permite concentraciones de sólidos algo mayores, por encima del 10%. En ocasiones el "plug-flow" se instala justo antes del digestor vertical de mezcla completa.

La mayoría de digestores agroindustriales trabajan la fermentación con temperaturas en rango mesofílico, es decir, en el entorno de los 35 °C. La alternativa es el rango termofílico, alrededor de los 55 °C. Esta última

Redactado por AINIA

# Energía renovable a partir de los residuos de la industria alimentaria: BIOGÁS



tiene ventajas y desventajas. Por un lado se consiguen rendimientos mayores y tasas de destrucción de patógenos superiores, pero por otro lado, el proceso fermentativo es más sensible y puede sufrir más desequilibrios por procesos de inhibición.

## Ejemplos de plantas de producción de biogás agroindustrial en España y el extranjero

En la actualidad, el mayor número de plantas de biogás a partir de residuos agroindustriales se encuentra en Alemania, donde ya existen más de 4.000 instalaciones. En este país han proliferado en los últimos 6-7 años todo tipo de plantas pero en especial aquellas en las que se realiza co-digestión de residuos ganaderos y cultivos energéticos (principalmente maíz y silo-maíz).

En Dinamarca se construyeron, antes incluso que en Alemania, un gran número de instalaciones bajo el modelo de planta centralizada. Otros países que marcan el camino a seguir son Suecia, Austria o el Reino Unido. En nuestro país, el número se reduce a unas pocas unidades pero con el nuevo nivel tarifario y las condiciones coyunturales mencionadas anteriormente es previsible un rápido crecimiento. La Tabla 4 muestra ejemplos de plantas en distintos países y de diversos tamaños, así como los residuos tratados en cada una de ellas, número y capacidad de los digestores, potencia instalada y modelo de planta (individual o centralizada).

Tabla 4. Algunos ejemplos de plantas de biogás agroindustriales en funcionamiento en la UE

Localización	Residuos	Digestores	Potencia instalada	Tipo de planta
Vila-Sana, Lérida (España)	- 11.500 m <sup>3</sup> /año de purín de cerdo (70%). - 4.300 m <sup>3</sup> /año de residuos orgánicos agroindustriales de la zona (derivados de alcohol y aceites vegetales, lodos, residuos de frutas, cebolla y leche) (30%)	2 digestores en serie de 1.270 m <sup>3</sup>	1 motor de 380kW	Individual
Juneda, Lérida (España)	- 100.000 T/año de purín de cerdo de 70 granjas. - Lodos de matadero y subproductos producción biodiesel (<10%).	2 digestores de 3.000 m <sup>3</sup>	16,3 MW (5-8% procedente del biogás)	Centralizada
Karpalund, Kristianstad	- 36.000 T/año de estiércol (50%) - 32.400 T/año de residuos alimentarios (45%) - 3.600 T/año de residuos orgánicos domésticos (5%)	1 digestor de 4.500 m <sup>3</sup>	ND	Centralizada
Holsworthy, Devon (Reino Unido)	- 116.800 T/año purines, estiércol y gallinaza de 30 granjas (80%). - 29.200 T/año residuos alimentarios de la zona (20%).	2 digestores de 4.000 m <sup>3</sup>	2 motores de 2,1 MWe	Centralizada
Nistelrode (Holanda)	- 1.970 m <sup>3</sup> /año de gallinaza - 742 m <sup>3</sup> /año de purin de cerdo - 614 m <sup>3</sup> /año lodos de industrias cárnicas y del pescado	1 digestor principal de 75 m <sup>3</sup> y un digestor secundario de 35 m <sup>3</sup>	Motor de 95 kW	Individual
Kaarssen (Alemania)	- 100.000 T/año purín vacuno - 30.000 T/año de maíz de ensilaje	2 digestores x 5.500 m <sup>3</sup> 1 digestor secundario 2.500 m <sup>3</sup>	2 motores de 1.416 kW	Individual
Bueren-Haden (Alemania)	- 4.000 T/año purín - 10.000 T/año residuos alimentarios	2 digestores principales de 1.527m <sup>3</sup> y 2 secundarios de 2.661m <sup>3</sup>	1 motor de 630kW	Individual

Redactado por AINIA