

EL SECTOR DEL BIOGÁS AGROINDUSTRIAL EN ESPAÑA

(DOCUMENTO ELABORADO POR MIEMBROS DE LA MESA DE BIOGÁS)

Madrid, 16 de septiembre de 2010

EL SECTOR DEL BIOGÁS EN ESPAÑA

1. INTRODUCCIÓN	4
2. CARACTERIZACIÓN DEL SECTOR DEL BIOGÁS	5
2.1. CARACTERÍSTICAS Y TIPOS DE BIOGÁS	5
2.2. POTENCIAL ENERGÉTICO Y APROVECHAMIENTO DEL BIOGÁS	6
2.3. USOS DEL BIOGÁS	7
2.4. PROCESO DE DIGESTIÓN ANERÓBICA	8
2.4.1. Factores que regulan el proceso de digestión	9
2.4.2. Pretratamiento del sustrato	11
2.5. TECNOLOGÍAS DE DIGESTIÓN ANAERÓBICA	12
2.5.1. Digestores discontinuos	12
2.5.2. Digestores continuos	12
2.5.3. Digestores de tercera generación	14
2.5.4. Efectos de los tipos de digestores en el proceso de metanización	16
2.6. DISEÑO DE LAS PLANTAS DE DIGESTIÓN ANAERÓBICA	16
2.6.1. Diagrama de flujos de una instalación de digestión	16
2.6.2. Fases del proceso de digestión	17
2.7. CARACTERIZACIÓN DE LOS SUSTRATOS AGROINDUSTRIALES	18
2.7.1 Tipos de subproductos agroindustriales	18
2.7.2 Características de los subproductos agroindustriales	19
2.8. DEPURACIÓN Y APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DEL BIOGÁS	22
2.8.1. Sistemas de depuración del biogás	22
2.8.2. Sistemas de aprovechamiento energético del biogás	24
2.8.3. Sistemas de inyección de biogás en la red de gas natural	26
3. LEGISLACIÓN APLICABLE AL BIOGÁS DE DIGESTIÓN DE MATERIAS PRIMAS AGROINDUSTRIALES	26
3.1. MARCO LEGISLATIVO	26
3.1.1. Legislación de la UE	27
3.1.2. Legislación nacional	27
3.1.3. Legislación autonómica	28
3.2. ANALISIS ACTUAL DEL MARCO LEGISLATIVO	28
3.2.1. Materias primas	28
3.2.2. Las instalaciones	33
3.2.3. Digestato	37
4. EL BIOGÁS EN EUROPA	38
4.1. LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN ALEMANIA	41
4.1.1. Ley de energías renovables de 2009	43
4.1.2. Regulaciones de acceso a la red de gas	44
4.1.3. Ley de calor renovable	44
4.1.4. Tendencia en la producción de biogás en Alemania	44
5. SITUACIÓN DEL BIOGÁS EN ESPAÑA	45
5.1. PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN ESPAÑA	49
5.2. POTENCIAL DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS AGROINDUSTRIAL EN ESPAÑA	50
5.2.1. Estiércoles y purines generados por el sector ganadero	50
5.2.2. Producción de SANDACH, excluido estiércoles y purines	56

5.2.3. <i>Producción de residuos vegetales, de la industria agroalimentaria y de la industria bioenergética</i>	60
5.2.4 RESUMEN DE PRODUCCIÓN DE SUBPRODUCTOS AGROINDUSTRIALES Y SU POTENCIAL PRODUCTIVO EN BIOGAS .	63
5.3. POTENCIAL ENERGETICO Y MEDIOAMBIENTAL DEL BIOGÁS AGROINDUSTRIAL EN ESPAÑA	65
5.3.1. <i>Potencia instalada</i>	65
5.3.2. <i>Autoconsumo térmico de las instalaciones de codigestión</i>	66
5.3.3. <i>Autoconsumo eléctrico de las instalaciones de codigestión</i>	66
5.3.4. <i>Reducción de emisiones en el biogás de digestión de subproductos agroindustriales</i>	67
5.3.5. <i>Correlación entre producción eléctrica y reducción de emisiones en la digestión de subproductos agroindustriales</i>	68
5.4. RENTABILIDAD DEL BIOGAS DE DIGESTIÓN EN ESPAÑA. HIPOTESIS DE VALORACION ECONÓMICA	69
5.5. POSIBLES ADAPTACIONES DEL SISTEMA ALEMÁN A LA PRODUCCIÓN ESPAÑOLA DE BIOGÁS	81
6. LIMITACIONES ECONOMICAS, TECNICAS Y ADMINISTRATIVAS PARA EL DESARROLLO DEL BIOGÁS EN ESPAÑA	81
7. LINEAS DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN EN BIOGAS	84
8. CONCLUSIONES	85
9. ANEXO: PARTICIPANTES EN LA MESA DE BIOGÁS	89

1. INTRODUCCIÓN

La energía es necesaria para la actividad humana, bien en forma de electricidad, calefacción o gas y la creciente demanda de los últimos años se ha venido cubriendo mayoritariamente con fuentes de energía de carácter fósil, como el carbón, el gas natural y el petróleo.

La sobreexplotación de esta energía fósil, unido a que es un recurso limitado, esta cuestionando cada día más el que pueda continuar siendo por si sola la fuente para la producción de la energía del futuro, teniendo también en cuenta los condicionantes de tipo económico y técnico de la explotación de los nuevos yacimientos. Si a este factor unimos que las energías de origen fósil son las principales responsables de las emisiones de CO₂ y por tanto del calentamiento global, se comprende el echo de que desde hace algún tiempo, a nivel mundial, se hayan vuelto las miradas hacia los programas de desarrollo de fuentes de energías renovables, que permitan cubrir parte de la demanda futura en condiciones económicas viables.

A diferencia de la energía fósil, la de carácter renovable procede de fuentes duraderas como, la biomasa, el viento o el sol y para el caso de la energía del biogás se genera independientemente de las condiciones atmosféricas, mediante la fermentación anaeróbica de subproductos orgánicos.

La biomasa representa en la actualidad dos tercios de las energías renovables en Europa y se espera que la bioenergía desempeñe un papel clave en la consecución de los ambiciosos objetivos aprobados por la directiva de energías renovables, con la que se pretende abastecer, como mínimo, un 20% de la electricidad generada para el año 2020, cuando actualmente la cuota es del 8,5%.

Estudios de la Agencia Europea de Medio Ambiente ponen de manifiesto que el potencial de la agricultura sigue estando en gran medida sin explotar y se espera que este sector tenga las más altas tasas de crecimiento en los próximos años, para contribuir significativamente en la consecución de los objetivos de la referida directiva de energías renovables.

Por ello muchos países vienen promulgando normativas de apoyo a las instalaciones de producción de energías renovables y específicamente para la producción de biogás de digestor. Teniendo en cuenta que el sector agroindustrial es la principal fuente generadora de subproductos y compuestos orgánicos, en el marco de la Mesa sobre Materia Prima Agraria y Biocombustibles coordinada por el Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Medio Marino (MARM), se acordó la creación de tres grupos de trabajo, uno sobre biocarburantes, otro sobre biomasa y un tercero sobre biogás.

El Grupo de Trabajo sobre Biogás tiene como objetivo prioritario analizar y plasmar en este documento las oportunidades que para el sector agrario tiene el desarrollo del biogás de digestión, definiendo un modelo español que tenga en cuenta las particularidades técnicas de nuestro sistema productivo, así

como los condicionantes económicos, administrativos y energéticos de las medidas que se adopten.

Además, el presente documento referido al biogás de digestión de subproductos agrario deberá emplearse como referente para la elaboración de una parte del capítulo de biogás del nuevo PER 2011-2020, que esta siendo elaborado por el IDEA, y que el Ministerio de Industria, Comercio y Turismo deberá presentar en la Unión Europea antes del 31 de diciembre de 2010.

2. CARACTERIZACIÓN DEL SECTOR DEL BIOGÁS

El biogás generado industrialmente es una fuente de energía secundaria que se produce a partir de diferentes tipos de materias orgánicas mediante la fermentación anaeróbica de las mismas y reproduce de una forma acelerada el ciclo natural de dichos compuestos.

En el proceso de fermentación anaeróbica también se genera un digestato rico en nutrientes (N, P, K, Ca, etc.) y materia orgánica, con un menor índice de olores y cuyo destino fundamental es el uso agrícola como abono órgano-mineral de los cultivos.

2.1. CARACTERÍSTICAS Y TIPOS DE BIOGÁS

El término biogás incluye una mezcla de gases producidos a lo largo de las múltiples etapas del proceso de descomposición de la materia orgánica y en las que intervienen una población heterogénea de microorganismos. Fundamentalmente el biogás esta compuesto por metano y dióxido de carbono, mezclado en menor proporción con distintas gases, como se refleja en la tabla siguiente:

<u>COMPUESTOS DEL BIOGÁS</u>	<u>%</u>
Metano, CH ₄	50 - 75
Dióxido de carbono, CO ₂	25 - 45
Vapor de agua, H ₂ O.....	1 - 2
Monóxido de carbono, CO.....	0 - 0,3
Nitrógeno, N ₂	1 - 5
Hidrógeno, H ₂	0 - 3
Sulfuro de hidrógeno, H ₂ S	0,1 - 0,5
Oxígeno, O ₂	0,1- 1,0

Como se puede apreciar el metano es el principal componente del biogás y su baja densidad de 0,7 kg/m³ en condiciones normales, le hace más ligero que otros gases como el propano y butano, por lo que no se acumula a ras del suelo, disminuyendo los riesgos de explosión.

Dependiendo del substrato orgánico del que proceda y de las características de las instalaciones de generación-captación del biogás se puede agrupar en los tres tipos siguientes:

- **Biogás de vertedero:** Su aprovechamiento se produce una vez sellados los vertederos de residuos sólidos urbanos (RSU) y en función de su

composición pueden presentar impurezas de siloxanos, compuestos fluorados y clorados.

- **Biogás de digestores:** Dentro de este tipo se pueden diferenciar tres subgrupos, dependiendo del origen de los sustratos a digerir. Biogás de depuradoras urbanas que se genera a partir de la digestión anaeróbica de los fangos primarios de las plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas. Cuando la fracción orgánica procede de los RSU tenemos el Biogás FORSU y si se digieren subproductos y residuos de los sectores agrícola, ganadero o la industria agraria, se obtiene el denominado Biogás Agroindustrial.

De los tipos de biogás anteriores, el más noble y con menor cantidad de impurezas es el obtenido a partir de residuos agroindustriales. No obstante, en los casos donde se usen como sustrato los estiércoles y purines pueden aparecer cantidades significativas de sulfuro de hidrogeno en el biogás, que será preciso depurar antes de su aprovechamiento energético.

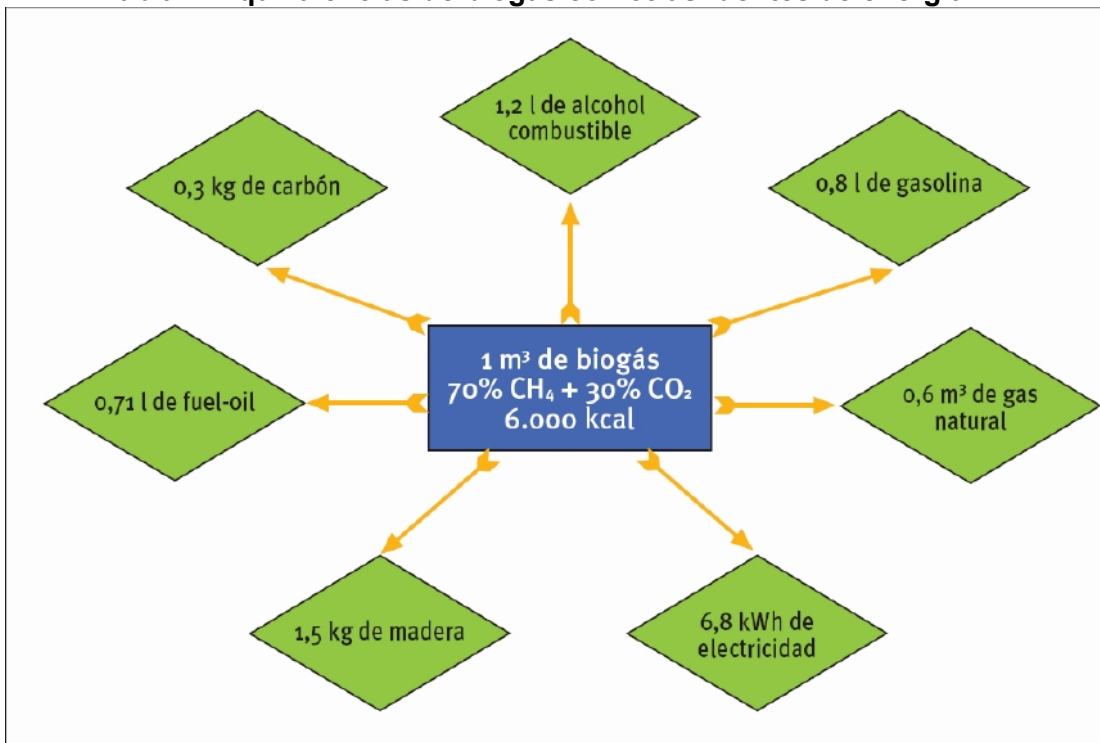
2.2. POTENCIAL ENERGÉTICO Y APROVECHAMIENTO DEL BIOGÁS

El biogás es un gas combustible cuya composición depende fundamentalmente del tipo de sustrato utilizado y digerido en el proceso, y su alta concentración en metano, de elevada capacidad calorífica (5.750 kcal / m^3), le confiere características combustibles ideales para su aprovechamiento energético en motores de cogeneración, calderas, turbinas, pudiendo por tanto generar electricidad, calor o ser utilizados como biocarburantes.

De manera aproximada, se puede constatar que el gas natural tiene un contenido en CH_4 del 100%. Por lo tanto, se podría decir que 1 m^3 de biogás equivale a la energía de $0,65 \text{ m}^3$ de gas natural (suponiendo que el biogás tiene una riqueza media en metano del 65%). Por otra parte, la cantidad de CH_4 necesaria para obtener 10 kWh de energía total es de 1 m^3 de metano aproximadamente. Si además, el rendimiento eléctrico de un motor es del 40 – 45%, se puede concluir que 1 m^3 de biogás puede llegar a producir $2,8 \text{ kWh}$ de energía eléctrica renovable.

En base a estos criterios la equivalencia energética del biogás respecto de otras fuentes de energía se resume en el cuadro 1.

Tabla 1. Equivalencias de biogás con otras fuentes de energía



Fuente: CIEMAT

2.3. USOS DEL BIOGÁS

Como ya se ha señalado, el biogás es un gas combustible que puede aprovecharse energéticamente en motores de cogeneración, calderas, turbinas, pudiendo por tanto generar electricidad, calor o ser utilizados como biocarburantes. Así mismo, también puede ser inyectado el biogás depurado en la red de gas.

Cuando la concentración de sulfuro de hidrógeno en el biogás supera las 200 ppm, debe ser sometido a un proceso previo de lavado antes de ser utilizados como combustibles. Ello se produce fundamentalmente cuando se utilizan estiércoles y purines en el proceso de digestión y por tanto se deberán tener en cuenta los correspondientes costes de pretratamiento a la hora de efectuar los estudios económicos de rentabilidad de las instalaciones.

El aprovechamiento energético más habitual del biogás es en el motor de cogeneración, mediante el cual se obtienen unos rendimientos en energía eléctrica de entre el 35 y el 40% y en energía térmica de entre el 30 y el 40%. La energía eléctrica puede entregarse a la red eléctrica, recibándose a cambio una remuneración económica.

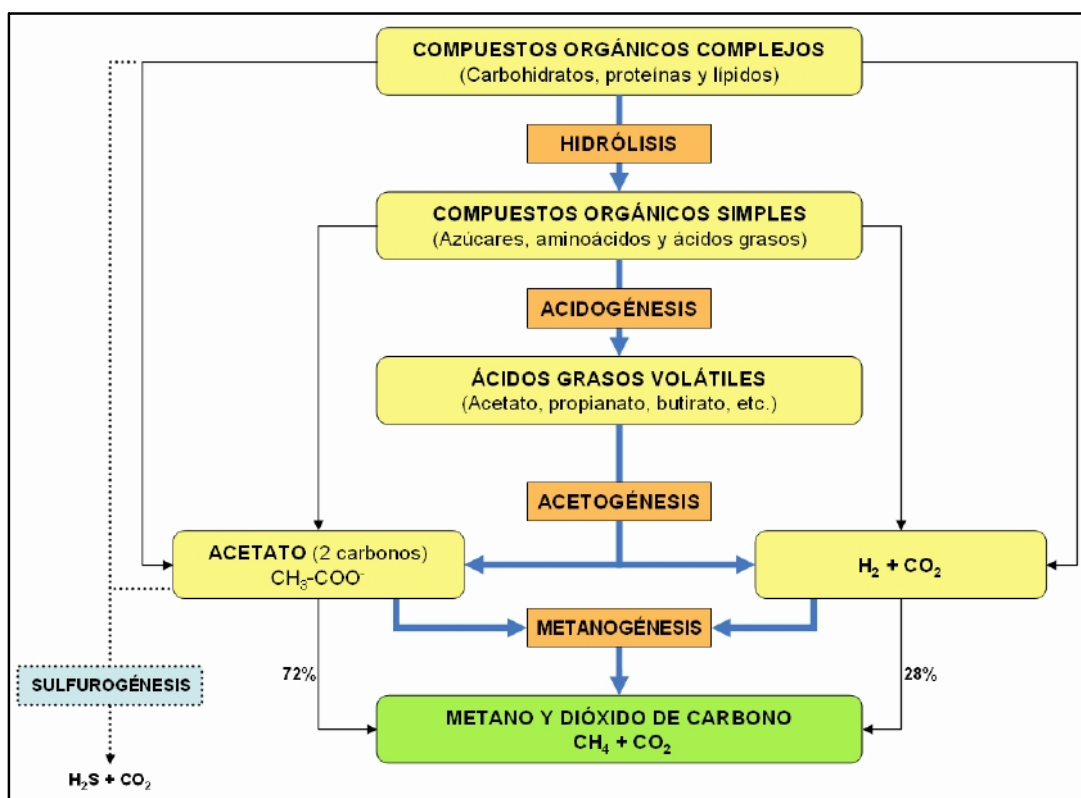
Para el caso del biogás agroindustrial, especialmente cuando se usan como sustratos los estiércoles, una alta proporción de la energía térmica producida (entre el 40% y el 80%) se autoconsume para alcanzar y mantener la temperatura mesófila o termófila del proceso de digestión. El excedente térmico puede destinarse a distintos usos (calefacción, agua caliente sanitaria, secado, invernaderos, producción de frío, etc.).

Sin embargo, el uso de biogás en microturbinas y pilas de combustible está poco extendido. Mientras que existen vehículos utilitarios de biogás derivados de proyectos experimentales que se están llevando a cabo en Suecia.

2.4. PROCESO DE DIGESTIÓN ANERÓBICA

La digestión anaeróbica es un proceso microbiológico que, en condiciones anaerobias (ausencia de oxígeno) permite transformar la materia orgánica en metano. Se compone de múltiples etapas en la que intervienen una población heterogénea de microorganismos. En la Figura 1, se especifican cuatro rutas para la metabolización del carbono, no obstante el proceso completo se puede resumir en dos fases principales, una primera hidrolítica fermentativa y una segunda metanogénica. En la primera fase, los polímeros orgánicos son metabolizados mediante hidrólisis y fermentación microbiana en una mezcla de ácidos grasos volátiles (acético, propiónico, butírico, valérico, láctico...), carbónico e hidrogeno. En la segunda fase, encadenada con la primera, se transforman los productos finales de la misma en metano y dióxido de carbono, mediante las bacterias metanogénicas que son anaeróbicas estrictas.

Figura 1. Fases de la digestión anaerobia



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

En general, la puesta en marcha de los digestores es lenta y requiere tiempos que pueden ser de meses, dependiendo del tipo de sustrato a digerir, lo que representa unos costes adicionales a la propia inversión de los equipos que deben contemplarse a la hora de la evaluación económica de las instalaciones de biogás. Por ello en la mayoría de los casos se recurre a la “siembra del digestor” mediante la incorporación de digestatos provenientes de instalaciones de digestión en funcionamiento. Así mismo en los casos de digestores

agroindustriales donde no se utilicen como sustratos los estiércoles o purines, que ya tienen bacterias metanogénicas, es preciso incorporar dichos subproductos ganaderos para que haga de estárter del proceso de biodigestión.

Por otra parte, la velocidad del proceso también estará limitada por la etapa más lenta, bien la hidrolítica o la metanogénica, que depende de la composición intrínseca de cada sustrato. Para sustratos solubles, la fase limitante suele ser la metanogénesis, mientras que en los casos donde la materia orgánica está en forma "insoluble", la fase limitante es la hidrólisis. Por ello una de las estrategias utilizadas para aumentar la velocidad del proceso es someter el sustrato a un pretratamiento, reseñados en el apartado 2.4.2

2.4.1. Factores que regulan el proceso de digestión.

Las bacterias metanogénicas, como ya se ha reseñado, se caracterizan por su crecimiento lento y por ser muy sensibles a una serie de parámetros externos que es preciso controlar para que la fermentación anaeróbica se verifique con la normalidad deseada. Entre estos factores podemos destacar los siguientes: temperatura, tiempo de retención hidráulico, pH, alcalinidad, ácidos grasos volátiles, elementos tóxicos.

- Temperatura

En función de la temperatura óptima de crecimiento, los microorganismos se clasifican en: psicrófilos (temperatura óptima de crecimiento inferior a 30°C); mesófilos (óptimo de crecimiento entre 30 y 45°C); termófilos (su temperatura óptima es superior a los 45°C y generalmente entre 50 y 60°C). Como consecuencia de este crecimiento específico de los microorganismos se pueden distinguir las fermentaciones psicrófila, mesófila y termófila. La operación en el rango mesófilo es la de mayor difusión.

- Tiempo de retención hidráulica (TRH)

Se define como el cociente entre el volumen del digestor y el caudal de alimentación. Este parámetro puede definirse como el tiempo que debe permanecer el efluente orgánico o sustrato en el digestor, para alcanzar los niveles de energía y/o reducción de la carga contaminante que se hayan prefijado.

- pH

La digestión anaerobia se desarrolla en condiciones óptimas a un pH de 7,0 - 7,2 pudiendo tener una fluctuación entre 6,5 y 7,5.

- Alcalinidad

Los sustratos de la industria agroalimentaria y sobre todo los estiércoles y purines del sector ganadero presentan un poder tampón alto, debido a la presencia de compuestos disociados como bicarbonatos, carbonatos, amoníaco, ácidos orgánicos etc. No obstante, en general, no es preciso efectuar correcciones de pH para ajustarlo a los parámetros óptimos de funcionamiento del proceso de digestión anaerobia.

- Ácidos volátiles

Un síntoma típico de mal funcionamiento de los digestores es el aumento de la concentración de los ácidos volátiles en el efluente. La inestabilidad del

proceso puede estar relacionada con una sobrecarga orgánica del digestor, una entrada de elementos tóxicos, inhibidores en el efluente o una variación de temperatura.

Un gran aumento de ácidos hará reducirse el pH que inhibirá progresivamente a las bacterias metanogénicas hasta bloquear completamente el proceso anaerobio.

- Nutrientes

Una de las ventajas inherentes al proceso de digestión anaerobia es su baja necesidad de nutrientes como consecuencia de su pequeña velocidad de crecimiento. No obstante, resulta fundamental para la estabilización del proceso que la relación C/N se mantenga entre 20/1 y 30/1 y la relación N/P más adecuada es de entre 1/5 y 1/7.

- Elementos tóxicos

Diferentes metales, el ión amonio y especialmente los metales pesados, llegan a ser tóxicos cuando alcanzan una cierta concentración en el sustrato. Estas concentraciones están comprendidas entre los siguientes valores:

- Na 3.500 – 5.500 ppm
- K 2.500 – 4.500 ppm
- Ca 2.500 – 4.500 ppm
- Mg 1.000 – 1.500 ppm
- NH₄ 1.500 – 3.500 ppm

En la tabla 2 se recogen resumidamente no solo estas condiciones óptimas en lo que se desarrollan los microorganismos de la fase metanogénica sino también los de la fase acidogénica.

Tabla 2. Condiciones ideales para la digestión anaerobia en función de la fase

PARÁMETRO	HIDRÓLISIS/ACIDIFICACIÓN	FORMACIÓN DE CH ₄
Temperatura (°C)	25-35	Mesófilo: 32-42 Termófilo: 50-58
pH	5,2-6,3	6,7-7,5
Relación C:N	10-45	20-30
Contenido en sólidos (%)	<40	<30
Potencial redox (mV)	300-400	<250
Demanda de nutrientes C:N:P:S	500:15:5:3	600:15:5:3
Elementos traza	No existen requerimientos específicos	Micronutrientes esenciales: Ni, Co, Mo, Se.

Fuente: Pfeiffer, B.

Es importante señalar que la ausencia de micronutrientes necesarios para el metabolismo de los microorganismos anaerobios, puede causar una reducción significativa en la producción de biogás.

2.4.2. Pretratamiento del sustrato

Además de homogeneizar la mezcla de sustratos que posteriormente serán introducidos en el digestor, la aplicación de unos pretratamientos adecuados, mejorará el rendimiento de la digestión anaerobia, aumentando la producción y la calidad del biogás, reduciendo los tiempos de retención, higienizando los subproductos (según los casos) y creando unas condiciones óptimas para el crecimiento microbiano.

En general, los pretratamientos facilitan la liberación del carbono de la materia orgánica contenida en el sustrato, aumentan la superficie específica de la materia y solubilizan y degradan la mezcla.

Tipos de pretratamientos:

- *Mecánicos*: el principio básico de funcionamiento de los pretratamientos mecánicos es el de trituración y homogeneización de la mezcla. Con este tipo de tratamientos se logra una reducción del tamaño de las partículas y un incremento de la superficie específica disponible para las bacterias. Se suele aplicar sobre materiales de origen estructural, difíciles de degradar (celulosa, lignina...), como por ejemplo en los residuos obtenidos de la recolección de los cereales.
- *Térmicos*: este tipo de procesos están basados en la higienización de los materiales tratados, con temperaturas comprendidas entre 60 a 70 °C, favoreciendo la etapa de hidrólisis e incrementando la producción de biogás. El ejemplo más claro de este tipo de pretratamientos es el de la pasteurización.
Se suelen emplear en residuos de mataderos (harinas de carne, estómagos), residuos de la industria alimentaria (procesado de alimentos, pescado) y lodos de industrias alimentarias.
Otros tipos de pretratamientos térmicos existentes, son el tratamiento térmico a alta temperatura (133 °C y altas presiones) y la inyección rápida de vapor (usado fundamentalmente en lodos).
- *Biológicos*: algunos de los tratamientos biológicos más representativos son los tratamientos fúngicos, ensilado y tratamientos enzimáticos, que se realizan sobre restos de cereales, de maíz...

Los tratamientos enzimáticos, aprovechan la actividad metabólica de algunas enzimas hidrolíticas, para degradar parcialmente los sustratos. El ensilado es un proceso fermentativo que permite la conservación de sustratos vegetales a lo largo del año. Se produce ácido láctico, que disminuye el pH, lo que impide otras fermentaciones espontáneas.

- *Químicos*: estos tratamientos se aplican sobre los lodos de depuradora, residuos de la industria alimentaria, etc., mediante la adición de sustancias de origen ácido o bases.
- *Termoquímicos*: con estos métodos se regula el pH y la temperatura deseados de la mezcla. Se realizan sobre residuos de paja, lodos de depuración y residuos sólidos urbanos, entre otros.
- *Ultrasonidos*: es un método no muy usado. Este pretratamiento fundamentalmente se aplica sobre lodos de estaciones depuradoras de aguas residuales industriales.

De todos los pretratamientos anteriores, los más representativos son los mecánicos y los térmicos.

2.5. TECNOLOGÍAS DE DIGESTIÓN ANAERÓBICA.

2.5.1. Digestores discontinuos

También llamados sistemas de “primera generación”. La característica principal de este grupo de fermentadores es, como su propio nombre indica, la carga discontinua, la cual se efectúa de una vez y se inocula con biomasa microbiana de la digestión precedente para favorecer el arranque de la fermentación. Estos digestores se han diseñado preferentemente para tratar residuos orgánicos con alto contenido en sólidos y, por tanto, los periodos de retención hidráulica son bastante prolongados. Dentro de este sistema se encuentran los digestores de tipo familiar de China y de la India usados desde la antigüedad.

Uno de los problemas que presenta esta tecnología, es la producción discontinua de biogás y, con objeto de eliminar en lo posible este inconveniente, las instalaciones se han proyectado dividiendo la capacidad total de digestión en tres o más fermentadores, los cuales funcionan de una manera escalonada, para solapar las curvas de producción de biogás y obtener una curva integral de producción uniforme de combustible.

Actualmente este tipo de reactores son típicos en el tratamiento de FORSU (Fracción Orgánica de Residuos Sólidos Urbanos).

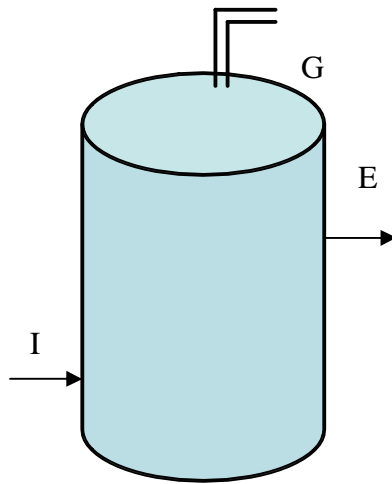
2.5.2. Digestores continuos

Estos nuevos tipos de digestores de “segunda generación”, presentan en común la particularidad de obtener un flujo continuo de biomasa activa en su interior. En este grupo se incluye una amplia gama de digestores desarrollados con objeto de alcanzar una mejora en la producción energética. Las principales tecnologías de este tipo existentes en el mercado son:

- Mezcla completa.- Constituyen la tecnología más clásica para el tratamiento de todo tipo de residuos orgánicos semi-sólidos. Su característica principal es que la biomasa se elimina periódicamente a medida que lo hace el residuo orgánico digerido. Esta mecánica de

funcionamiento no permite una alta concentración de bacterias en el interior del digester y, por tanto, la producción de biogás por unidad de volumen del digester es reducida.

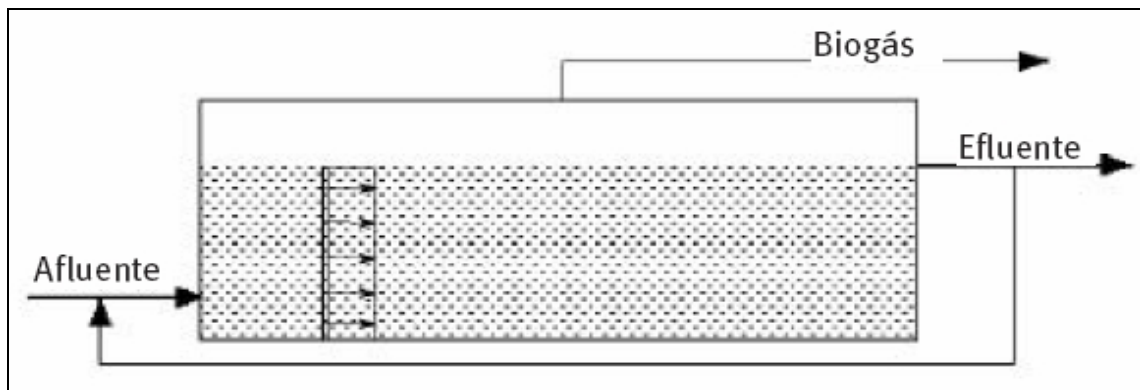
Figura 2.- Esquema de digester de mezcla completa.



Fuente: Monografía INIA. I.- Influyente; E.- Efluente, G.- Biogás

- Flujo-pistón.- Se basan en el desplazamiento horizontal a través de una sección longitudinal, del sustrato a digerir, mezclándose mínimamente en este sentido, pues las distintas secciones tienen estados de fermentación diferentes. Son aptos para el tratamiento de residuos con elevada materia en suspensión.

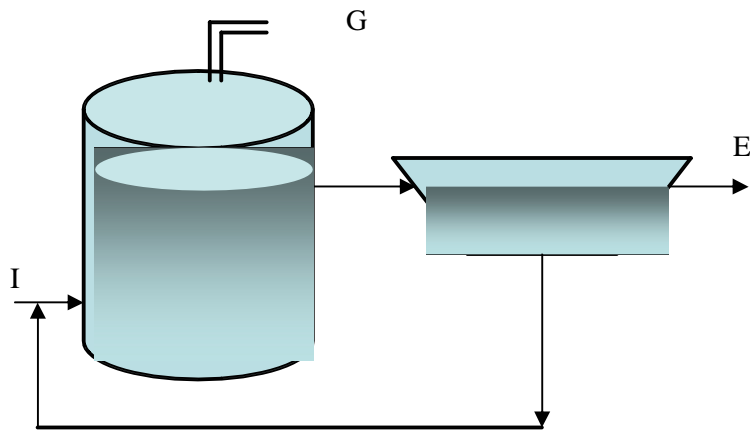
Figura 3. Digester flujo – pistón



Fuente: IDEA

- Contacto o reciclado de lodos.- Uno de los problemas importantes que se presentan en los digestores hasta ahora mencionados es el “arrastre” de microorganismos por el efluente desde el interior del digester. La pérdida de biomasa bacteriana influye negativamente en el rendimiento de la digestión. En los digestores de contacto se procede a realizar una decantación de la biomasa arrastrada por el efluente, para introducirlos de nuevo en el interior del digester, con lo que se consigue una mayor población microbiana activa, que posibilita una disminución del tiempo de retención.

Fig. 4.- Esquema de un sistema de tratamiento anaerobio de contacto



Fuente: Monografía INIA: I.- Influyente; E.- Efluente, G.- Biogás

2.5.3. Digestores de tercera generación

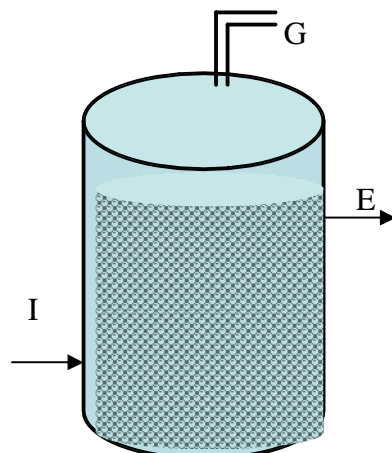
En este grupo se incluye una generación de digestores que se han desarrollado en los últimos años y que tienen como objetivo común, aumentar la concentración de la biomasa activa para aumentar el rendimiento energético por unidad de volumen del digestor. Sin embargo, este tipo de digestores, por su configuración, se utilizan principalmente para líquidos. Muchos de ellos no serían aplicables para residuos ganaderos.

- Filtro anaerobio.-

La disminución del arrastre se logra al introducir dentro del digestor un lecho o soporte encargado de que sobre él se fijen los microorganismos. Los soportes más utilizados actualmente son de tipo plástico (poliuretano y PVC) o silicatos (vermiculita, bentonita y sepiolita).

Los filtros anaerobios permiten altas sobrecargas sin disminución apreciable en su eficacia. El inconveniente es que no toleran apenas sólidos en suspensión que colmatan la matriz, siendo sólo adecuados para residuos solubles y bastante diluidos. La figura 4 muestra un esquema de este tipo de digestor.

Fig. 5.- Esquema del sistema de filtro anaerobio



Fuente: Monografía INIA: I.- Influyente; E.- Efluente, G.- Biogás

- **Lecho de lodos (sistema UASB)**

En este sistema el incremento de la población bacteriana dentro del digestor se basa en proporcionar a los lodos las características físico-químicas más adecuadas para favorecer la floculación y coagulación de los mismos sin necesidad de intervención de ningún tipo de soporte.

El digestor tiene un lecho de lodo floculado o granulado en el fondo, previsto para que permita el movimiento ascendente del influente a su través y actúe como filtro de la biomasa. La agitación se produce, durante la ascensión del biogás a través de toda la masa del digestor al liberarse el gas de los flóculos.

- **Película fija**

Sistema parecido al filtro anaerobio, pero en este caso el material inerte está constituido por placas paralelas fijas y en el que el flujo es descendente. De esta forma se previenen los peligros de colmatación y de formación de vías preferenciales que se presentan en los filtros ascendentes. Puede trabajar con altas cargas, tanto hidráulicas como de concentración de sólidos y residuos diluidos.

- Película fija sobre soporte libre.

Esta tecnología tiene una mecánica de funcionamiento similar a la del "Reactor de película fija", y la única diferencia es que el soporte de PVC, al cual se fijan las bacterias, está totalmente libre en el interior del digestor y por tanto permite su movimiento, evitando de esta forma los riesgos de entupimiento y/o la formación de vías preferenciales.

- **Lechos fluidizados o expandidos**

El procedimiento que se utiliza en este sistema está enfocado a maximizar la población microbiana en el digestor, maximizando para ello la superficie de adherencia de la biomasa al soporte. Para lograrlo, se introduce un material en partículas muy pequeñas, inerte y móvil (arena o alúmina) que se mantienen en lecho fluidizado y con una expansión relativamente pequeña con objeto de lograr una buena uniformidad en la distribución del efluente, que se mezcla con la alimentación.

Se habla de lechos expandidos cuando la expansión del lecho es de 10-35%, mientras que cuando se recupera el 35% se habla de lecho fluidizado. La eficacia demostrada por este tipo de reactor, es bastante superior a cualquier otro tipo hasta ahora desarrollado, con la particularidad de presentar una gran estabilidad frente a cambios, incluso bruscos, de sus parámetros de operación. No obstante, la aplicación de esta tecnología a nivel industrial es actualmente más problemática que en el resto de los sistemas.

2.5.4. Efectos de los tipos de digestores en el proceso de metanización.

El desarrollo de las tecnologías de fermentación detalladas anteriormente, han tenido como objetivo prioritario incrementar la carga microbiana en el digestor, con lo que se consigue reducir los tiempos de retención hidráulica e incrementar la carga de carbono en el influente a digerir.

En la Tabla 3 se recogen los intervalos de estos parámetros, para los distintos tipos de digestores de alimentación en continuo y que se pueden agrupar en las tres grandes categorías siguientes: digestores de mezcla total, digestores de contacto y digestores de filtro anaeróbico.

Tabla 3.- Parámetros de fermentación en tres tipos de digestores

PARAMETROS	UNIDADES	TIPOS DE DIGESTORES		
		Mezcla Completa	Contacto	Película fija
Carga aplicada	gr. /litro digestor	2 a 3	4 a 6	10 a 12
Producción biogás	l. /litro digestor	1,0 a 1,5	2,0 a 2,5	5,0 a 6,0
Lodos en reactor	gr. / litro digestor	3 a 15	20 a 30	60 a 90

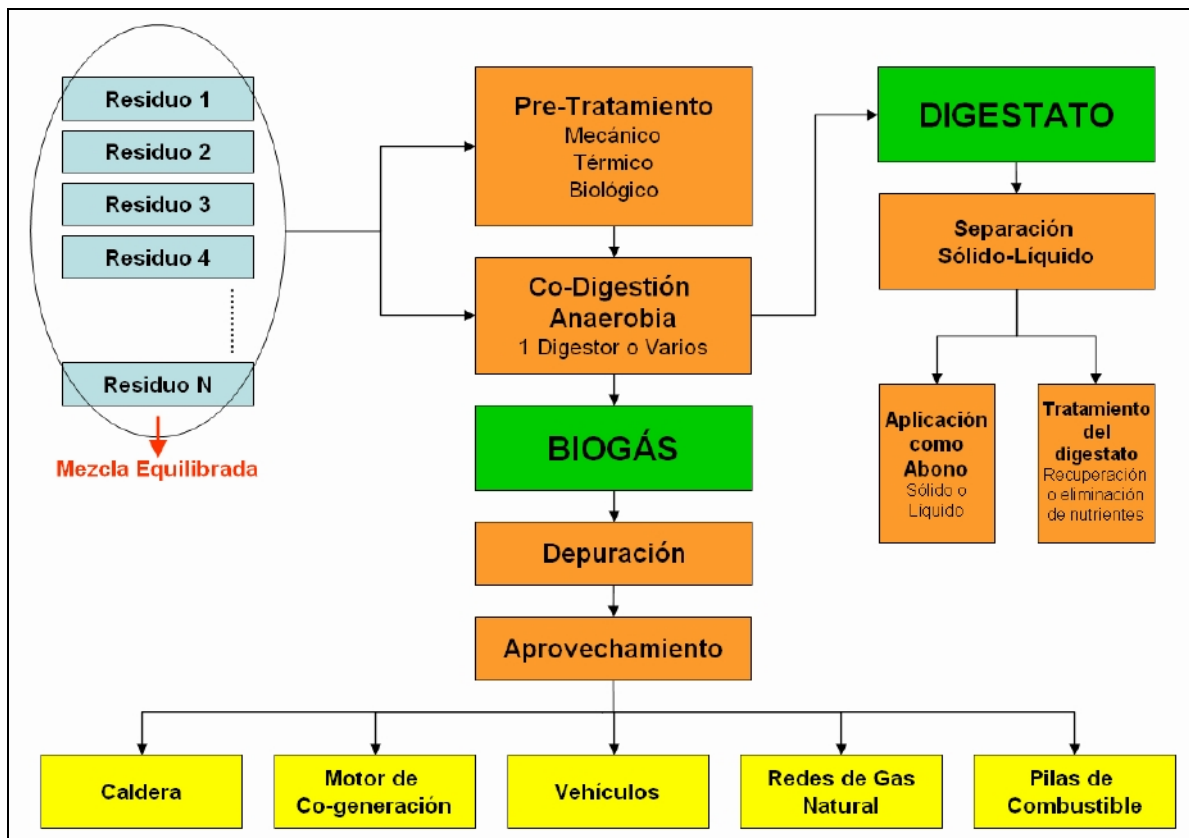
Este desarrollo tecnológico en el diseño de los digestores ha permitido mejorar los rendimientos en producción de biogás y disminuir los tiempos de retención hidráulica con el consiguiente abaratamiento de los digestores al disminuir su tamaño. No obstante, dependiendo de las características intrínsecas del influente a digerir, especialmente en lo relacionado con su concentración de sólidos, se deberá en cada caso seleccionar la tecnología de digestión más adecuada.

2.6. DISEÑO DE LAS PLANTAS DE DIGESTIÓN ANAERÓBICA.

2.6.1. Diagrama de flujos de una instalación de digestión.

Aunque en las instalaciones de biogás el elemento fundamental lo constituye el digestor en sus diferentes variantes, también existe la posibilidad de aplicar múltiples sistemas tanto en el pretratamiento de los sustratos como en el postratamiento del digestato. Así mismo, pueden aplicarse distintas alternativas para el aprovechamiento energético del biogás y todo ello se recoge en el diagrama de flujo de la figura 6.

Figura 6. Diagrama de flujo de una planta de biogás agroindustrial



Fuente: AINIA

2.6.2. Fases del proceso de digestión.

Para el caso del biogás agroindustrial las alternativas que se presentan en cada una de las fases de este diagrama, se resumen a continuación:

- Pretratamiento:** en general, con los pretratamientos se pretende acelerar el proceso de hidrólisis de las materias orgánicas para incrementar la producción, la calidad del biogás, y se reduce el tiempo de residencia en el digestor, debido a un aumento de la biodegradabilidad, favoreciendo unas condiciones óptimas para el desarrollo microbiano.
- Co-digestión anaerobia:** es la fermentación anaerobia de dos o más sustratos que se complementan químicamente, aumentando la estabilidad, la producción de biogás y el equilibrio del proceso.
- Depuración y aprovechamiento:** dependiendo del uso del biogás, la depuración deberá ser más o menos estricta. El biogás se almacena en gasómetros y puede valorizarse en calderas, motores de co-generación (sistema más generalizado), vehículos, su introducción en la red de transporte de gas natural o en pilas de combustible.
- Digestatos y su aprovechamiento:** el digestato es un material de composición homogénea, en el que los malos olores se han reducido prácticamente en su totalidad y que contiene todos los nutrientes que

contenía la materia orgánica inicial. Puede utilizarse como fertilizante orgánico-mineral de los cultivos, ya sea directamente o tras ser sometido a un proceso de separación sólido-líquido y posteriormente la fracción sólida puede comportarse, bien sola o mezclada con otros sustratos.

2.7. CARACTERIZACIÓN DE LOS SUSTRATOS AGROINDUSTRIALES

2.7.1 Tipos de subproductos agroindustriales.

Los subproductos y residuos que forman el grupo de las materias primas agroindustriales son los que provienen de la agricultura, pesca y ganadería, de la industria alimentaria y de otras industrias similares, tales como: industrias de biodiesel, bioetanol, biorrefinerías.

Entre estos tipos de materias primas agroindustriales merece mencionar por su potencial en la producción de biogás las siguientes:

- *De origen animal*: estiércoles, purines, gallinaza...
- *De origen vegetal*: hierba, hoja de remolacha, paja, trigo, cultivos energéticos (con una elevada producción de biogás)...
- *De la Industria Alimentaria de origen vegetal*: bagazo de la industria cervecera o deshechos hortícolas...
- *Otros residuos de la Cadena alimentaria*: residuos y aceites de gastronomía...
- *De la Industria Alimentaria de origen animal*: subproductos de origen animal no destinados al consumo humano (SANDACH). En función del riesgo que implican para la salud pública, animal y del medio ambiente, y el riesgo que implican para la protección de la cadena alimentaria humana y animal, los subproductos SANDACH se clasifican en las siguientes categorías:

- Categoría 1: aquellos materiales que presentan un mayor riesgo. Por ello el único destino posible de estos materiales es la eliminación. Algunos ejemplos son: materiales específicos de riesgo (MER), productos derivados de animales a los que se hayan administrado sustancias prohibidas, residuos del catering internacional, etc.
- Categoría 2: materiales que presentan un riesgo intermedio y los usos de dichos materiales son distintos de la alimentación animal. Ejemplos: estiércol y contenido del tubo digestivo o animales que mueran sin ser sacrificados para el consumo, incluida la erradicación de enfermedades, entre otros.
- Categoría 3: son los que tienen un menor riesgo; por ello, los usos son más amplios que en las otras dos categorías anteriores, incluyendo la alimentación animal en algunos casos. Son las partes de animales que se consideran aptos para el consumo humano de conformidad con la normativa comunitaria, pero que no son destinados a este fin.

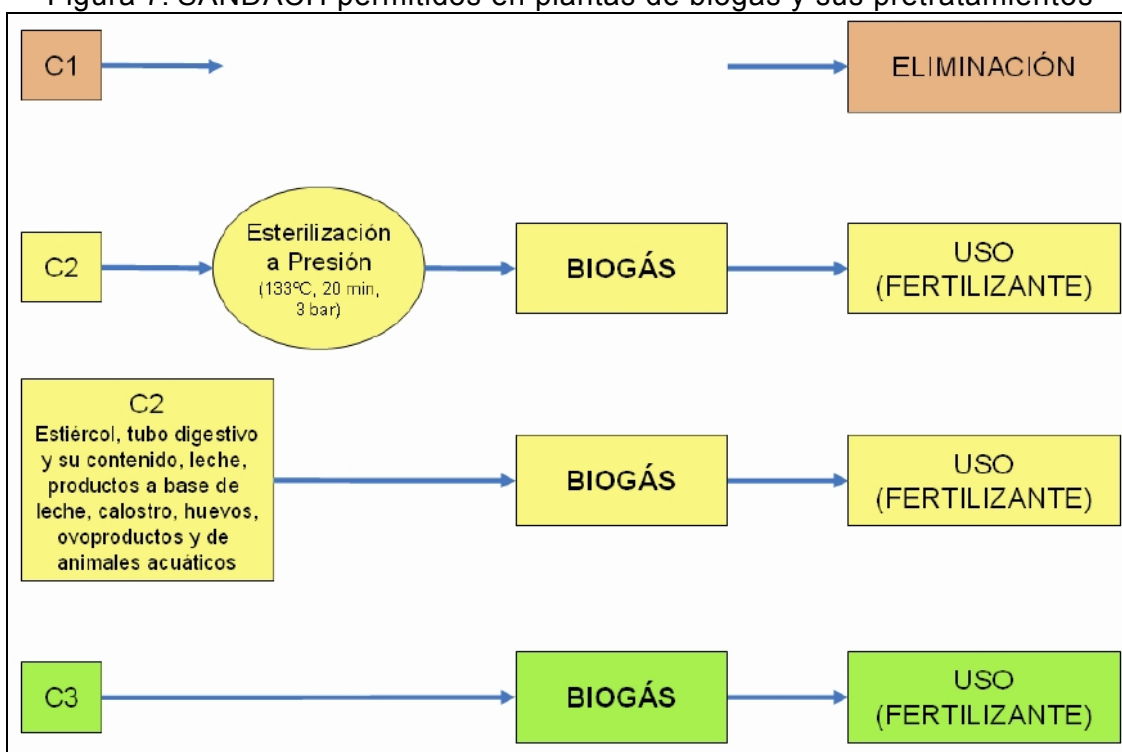
A partir del 4 de marzo de 2011 entrará en vigor el nuevo Reglamento (CE) nº 1069/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo, que establece una

serie de pequeñas diferencias respecto al actual Reglamento 1774/2002, que se refieren a la utilización de las diferentes categorías de SANDACH y los tratamientos que deben recibir para su uso en plantas de biogás.

Como resumen de los nuevos requisitos, señalar que ciertos materiales de categoría 2 (estiércol, tubo digestivo y su contenido, etc.) pueden ser utilizados directamente para su uso en plantas de biogás. El resto de materiales de categoría 2, deberán ser sometidos a una esterilización a presión. Por su parte, los materiales de categoría 3 pueden ser utilizados en plantas de biogás sin ningún tratamiento previo.

Además los digestatos obtenidos a partir de material de categoría 1 deberán ser eliminados, mientras que los digestatos obtenidos a partir de categoría 2 y 3, pueden ser utilizados como enmienda orgánica, según la normativa correspondiente. Dichos requisitos se resumen en la figura 7.

Figura 7. SANDACH permitidos en plantas de biogás y sus pretratamientos



Fuente: MARM

2.7.2 Características de los subproductos agroindustriales.

Los principales parámetros que deberán evaluarse para la caracterización de las materias primas agroindustriales utilizables en las plantas de biogás son los siguientes:

- Sólidos totales (ST): porcentaje de sólidos que forman la materia fresca.
- Sólidos Volátiles (SV): porcentaje de sólidos totales (ST) que se volatilizan mediante calcinación a 550°C. Representa la medida de la materia orgánica que se transforma en biogás mediante la digestión anaerobia mesófila o termófila de los compuestos orgánicos. La producción de biogás de un

sustrato suele referirse a los sólidos volátiles, y una manera de expresar la biodegradabilidad es como porcentaje de sólidos volátiles eliminados.

- Nutrientes: una adecuada proporción de nutrientes en las materias primas tiene un efecto fundamental sobre la producción de biogás, la formación de la biomasa microbiana, la concentración de enzimas y coenzimas necesarias en el proceso y la creación de las denominadas sustancias buffer. Las sustancias buffer son aquellas que favorecen las condiciones del proceso, aportando capacidad tampón o reguladora a la mezcla, estabilizando el pH.

Se puede resumir que de todos estos parámetros, el carbono y el nitrógeno son las fuentes principales de alimentación de las bacterias formadoras de metano; siendo el carbono la fuente de energía de los microorganismos, mientras que el nitrógeno contribuye a la formación de nuevas células. En el punto 2.4.1 de este documento se recogen las condiciones óptimas en las que se desarrollan los diferentes microorganismos que intervienen en el proceso de digestión.

Si no existe suficiente cantidad de nitrógeno en el medio para permitir que las bacterias se multipliquen, la velocidad de producción de gas se verá limitada; si por el contrario hay exceso de nitrógeno en el medio, se produce amoníaco, el cual, en grandes cantidades, es tóxico e inhibe el proceso, elevando los valores de pH.

En el caso del carbono, si éste se encuentra en exceso, el proceso se hace más lento y tiende a acidificar el medio, produciendo ácidos grasos volátiles (AGV), los cuales como ya se dijo anteriormente, en exceso inhiben la fermentación anaerobia.

En general, los desechos animales presentan una relación C/N por debajo del óptimo de mecanización, debido a sus elevadas concentraciones de nitrógeno y por ello, el rendimiento en producción de biogás se mejora significativamente cuando se codigiere con residuos agrícolas u otros sustratos orgánicos con elevada relación C/N.

Tabla 4. Relaciones C / N de algunos sustratos

SUSTRATO	RELACIÓN C:N
Purín de cerdo	18-20
Purín de vacuno	15-24
Gallinaza	15
Residuos de matadero	2-8
Residuos de cocina	25
Residuos de frutas	35
Fangos de depuración	16
Pieles de patata	25
Cebada, arroz, trigo	60-90

Fuente: Flotats, X.

Aunque en los subproductos agroindustriales pueden existir sustancias inhibidoras como pesticidas, herbicidas, aceites esenciales, polifenoles, etc. en los residuos vegetales o desinfectantes y antibióticos en los estiércoles ganaderos, la realidad es que no existen referencias claras de instalaciones de biodigestión en las que la concentración de dichos inhibidores haya producido un efecto negativo sobre el proceso. Así mismo, también puede haber casos en los que las sustancias inhibidoras se forman durante la digestión anaerobia, como la aparición de concentraciones altas de ácidos grasos de cadena larga, amoníaco e hidrógeno y ácido sulfhídrico. En la tabla siguiente se muestran valores orientativos de las concentraciones inhibidoras más habituales.

Tabla 5. Valores de las concentraciones de los inhibidores más comunes

INHIBIDORES	CONCENTRACIÓN INHIBIDORA (mg/ml)
Sulfuro (como azufre)	200
Cu	10-250
Cr	200-2000
Zn	350-1000
Ni	100-1000
CN	2
Na	8000
Ca	8000
Mg	3000

Fuente: GTZ GmbH, 1999

En la tabla 6 se recoge un resumen de las características más significativas de los sustratos agroindustriales más representativos, aunque conviene destacar que únicamente deben utilizarse como referencia general pues la variabilidad de los mismos es muy acusada. Por tanto a la hora de efectuar un estudio real para la construcción de una planta de biogás, es imprescindible hacer previamente una valoración precisa de los subproductos que se van utilizar en el proceso de biodigestión.

Tabla 6. Resumen de las características más significativas de los sustratos agroindustriales más habituales

Residuo	ST (%)	SV (% ST)	C:N	Producción de biogás (m ³ ·kg ⁻¹ de SV)	Tiempo de Retención (días)	CH ₄ (%)	Sustancias NO deseables	Sustancias Inhibidoras	Problemas Frecuentes
Purín de cerdo	3-8	70-80	3-10	0,25-0,50	20-40	70-80	Virutas de madera, arena, cerdas, cuerdas	Antibióticos, desinfectantes	Espumas, sedimentos
Estiércol	5-12	75-85	6-20	0,20-0,30	20-30	55-75	Cerdas, tierra, paja, madera	Antibióticos, desinfectantes	Espumas
Gallinaza	10-30	70-80	3-10	0,35-0,60	> 30	60-80	Piedras, arena, plumas	NH ₄ ⁺ Antibióticos, desinfectantes	Inhibición por NH ₄ ⁺ y 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	8-12	0,50-0,60	10-20	70-80	Huesos, metales, plásticos	AGV, desinfectantes	Acidificación, sedimentos mecánicos
Vinazas	1-5	80-95	4-10	0,35-0,55	3-10	55-75	Partes poco biodegradables	AGV	Acidificación
Paja	70	90	90	0,35-0,45	10-50	ND	arena	----	Espumas, biodegradabilidad

Fuente: Adaptación de Steffen, R., Szolar, O., Braun, R. (1998). Feedstocks for Anaerobic Digestion.

2.8. DEPURACIÓN Y APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DEL BIOGÁS

2.8.1. Sistemas de depuración del biogás

Además del metano y dióxido de carbono, el biogás también está formado por determinadas impurezas en pequeñas proporciones. Estas impurezas y sus efectos se reseñan en la tabla 7.

Tabla 7. Sustancias contaminantes en el biogás y sus efectos

SUSTANCIA	EFEECTO
H ₂ S	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Corrosión ▪ Toxicidad ▪ Formación de ácido sulfúrico
Agua	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Formación de condensados ▪ Formación de soluciones ácidas
CO ₂	Reducción de poder calorífico
Partículas	Decantación, obturación
NH ₃	Formación de óxidos de nitrógeno durante la combustión

Fuente: IDAE

Dependiendo del uso final que tenga el biogás, es necesaria una limpieza del combustible más o menos exhaustiva, para eliminar H₂S, NH₃, agua y partículas sólidas, tal y como se muestra en la tabla 8 siguiente.

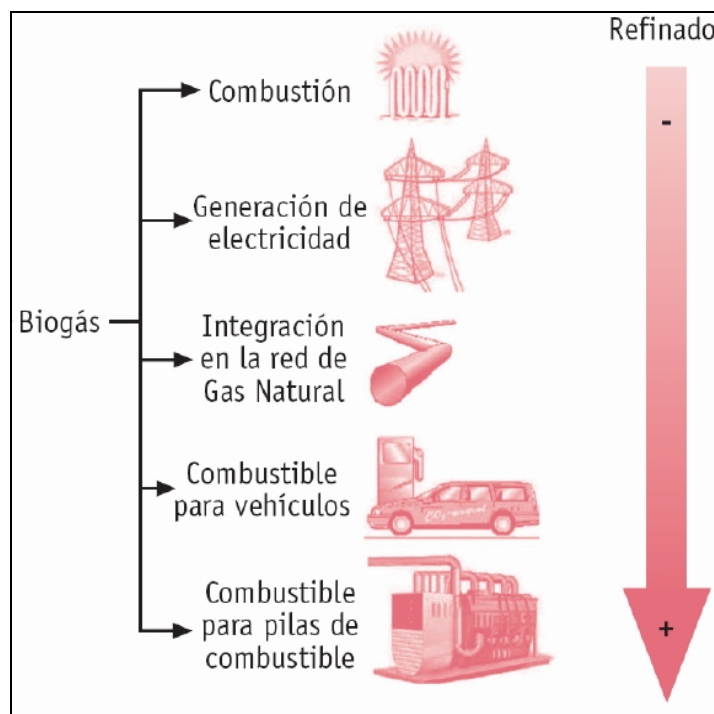
Tabla 8. Nivel del tipo de tratamiento del biogás según su uso final

USOS DEL BIOGÁS	ELIMINACIÓN DE AGUA	ELIMINACIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO	ELIMINACIÓN DE SULFURO DE HIDRÓGENO
Producción térmica en calderas	Parcial	No	No/Parcial/ Elevado
Producción eléctrica y térmica en motores de cogeneración	Parcial / Elevado	No/Parcial/ Elevado	Parcial / Elevado
Combustible para vehículos	Elevado	Elevado	Elevado
Red de gas natural	Elevado	Elevado	Elevado
Pilas de combustible	Elevado	Elevado	Elevado

Fuente: IDAE

El biogás debe ser depurado previamente en cualquiera de sus aplicaciones energéticas y los requerimientos en cuanto al refinado son mayores cuando se utiliza como combustible de vehículos, se inyecta en la red de gas natural o se utilizan en pilas de combustible, como queda reseñado esquemáticamente en la figura 8.

Figura 8. Diferentes tipos de aprovechamiento del biogás en función de su grado de depuración



Fuente: Colección de informes de vigilancia tecnológica madri + d

Los métodos de depuración del biogás más comunes son:

- a) **Desulfuración:** es el proceso de depuración del biogás más habitual, ya que se encuentra presente en el diseño de todas las plantas. Existen tres tipos de desulfuración: microaerofílica, desulfurización biológica externa y por adición de sales férricas. El funcionamiento del primero consiste en la inyección de pequeñas cantidades de aire en el espacio de cabeza del digestor donde se forman unas bacterias sulfooxidantes, que degradan el H_2S , dando lugar a azufre elemental (explicado en el apartado anterior). En el caso de la desulfuración biológica externa, se hace pasar al biogás a través de un biofiltro con relleno plástico sobre el que se adhieren las bacterias desulfurizantes; también se elimina NH_3 . Por último el proceso de adición de sales férricas consiste en añadir compuestos férricos al sustrato; de este modo se producen sulfatos insolubles que evitan la salida de azufre en forma de H_2S al biogás. Con este último método conviene ser muy cuidadoso porque se puede causar la corrosión de los materiales y una gran disminución del pH del proceso. Los residuos ganaderos son los sustratos que presentan unos mayores problemas relacionados con la producción de H_2S .
- b) **Deshumidificación:** es un proceso de reducción del agua presente en el biogás, por condensación. El gas, pasa a través de unos tubos refrigerantes que condensan el agua. Existen otros métodos de deshumidificación menos habituales, como por ejemplo el filtrado del gas, el enfriamiento con agua a una temperatura de $4^{\circ}C$, etc.
- c) **Eliminación de CO_2 :** en el caso en el que se utilice el biogás para cualquier otro proceso que no sea su valorización en motores de cogeneración, será necesaria la eliminación del dióxido de carbono. Los métodos posibles de eliminación de CO_2 del biogás son (los métodos que a continuación se presentan, están ordenados en orden creciente en cuanto a su coste y eficiencia): lavado con agua del CO_2 , lavado con disolventes orgánicos, filtración en carbón activo (el gas circula por el carbón activo, donde se retiene el CO_2), separación por membranas (proceso de alta efectividad) y separación criogénica de las materias según el punto de ebullición (proceso que en la actualidad se encuentra en desarrollo).

2.8.2. Sistemas de aprovechamiento energético del biogás

Existen distintos sistemas de aprovechamiento del biogás y todos ellos, resumidamente, se recogen a continuación:

- **Motores de cogeneración:** los motores de cogeneración, son el sistema de aprovechamiento energético más habitual que existe. Por cogeneración se entiende el sistema de producción conjunta de energía eléctrica y de energía térmica recuperada de los gases de escape del motor. De esta forma, se hace un uso más completo de la energía, que la lograda mediante la generación convencional de electricidad, donde el calor generado en el proceso se pierde.

Los motores de cogeneración, pueden alcanzar un rendimiento energético de alrededor del 85%. Esto es debido a que este tipo de motores presentan normalmente un rendimiento eléctrico del orden del 35 al 42%. Siendo el restante rendimiento térmico, es decir, de entre el 30 y el 40%.

En cuanto al biogás, debe ser depurado para que no contenga ácido sulfhídrico, ya que los motores son sensibles a la presencia de elementos corrosivos, además de no poder tener un contenido en metano menor del 40%, para su uso en este tipo de dispositivos.

Un segundo sistema existente en este campo es el de los motores de trigeneración. Es un proceso similar al de cogeneración, en el que además de electricidad y calor, también se produce frío, utilizando como único combustible el biogás. En este tipo de motores se obtiene una mayor cantidad de calor, pero a una menor temperatura.

- *Microturbinas*: las microturbinas son sistemas de cogeneración (obtención de electricidad y calor), adecuados para pequeñas potencias (30 a 200 kW) que pueden utilizar biogás como combustible, ya que las turbinas propiamente dichas no son muy utilizadas para la obtención energética de biogás (trabajan con potencias superiores de 500 kW a 30 MW).

Las microturbinas pueden trabajar con biogás con un contenido en metano del 35% (menor que los motores de cogeneración), presentan una mayor tolerancia al H₂S que los anteriores, son menos contaminantes y el mantenimiento necesario es más sencillo que el caso de los motores de cogeneración. Como inconvenientes: el rendimiento eléctrico obtenido es menor, del orden del 15-30% y por el momento, existen pocos suministradores; la tecnología en este caso no se encuentra tan implantada como en el de los motores de cogeneración. Las turbinas dan todo el calor residual en forma de gases de escape, por lo que el aprovechamiento es más simple que en motores donde tenemos parte del calor en agua y parte en gases.

- *Combustible para vehículos*: desde hace varios años, ya existen vehículos que funcionan con gas natural. Se estima que los vehículos que utilizan este tipo de combustible emiten un 20% menos de CO₂ (el principal responsable del efecto invernadero), que los residuos que funcionan con gasolina o gasóleo. Para su uso en vehículos, el biogás necesita ser depurado exhaustivamente, reduciendo el CO₂, O₂, H₂S y agua, y de esta forma elevar los niveles de metano en el gas hasta 96%. En España, en ciudades como Madrid o Barcelona, ya existen vehículos que utilizan biogás, en vehículos de transporte urbano.

Los motores de los vehículos que funcionan con biogás, presentan un mayor rendimiento que un motor convencional ya que existe una disminución del consumo energético. Los motores de estos vehículos son más duraderos y de menor ruido. En cuanto a los obstáculos para el uso generalizado de estos vehículos son: menor autonomía de conducción (alrededor de 150 km) y son motores que presentan un arrancado muy lento.

Según la Asociación europea de vehículos alimentados con gas natural (ENGVA, por sus siglas en inglés), en Europa existen 8.428.520 vehículos que funcionan con gas natural y existen 12.796 estaciones de llenado. Por

otra parte en Suecia, la utilización de biogás para combustible para vehículos está muy extendida; por ejemplo, en el año 2006, más de 11.500 vehículos utilizaban metano como combustible.

- *Pilas de Combustible*: las pilas de combustible son sistemas electroquímicos, es decir, producen electricidad a través de una reacción química. A diferencia de las baterías convencionales, una pila de combustible no se acaba y no necesita ser recargada, ya que su funcionamiento es ininterrumpido mientras el combustible y el oxidante le sean suministrados. En el ánodo de la pila se inyecta combustible: hidrógeno, amoniaco o hidracina. El principio de funcionamiento de las pilas de combustible, es inverso a la electrólisis del agua:



Cuando el biogás se utiliza como combustible en las pilas de combustible, lo habitual es que éste sea primero depurado exhaustivamente y posteriormente transformado a hidrógeno. Los métodos más comunes para transformar el metano a hidrógeno son: el reformado con vapor de agua, la oxidación parcial y el auto-reformado.

Dado que el proceso de generación de electricidad también produce calor, las pilas de combustible también se pueden adaptar como sistemas de cogeneración, produciendo energía eléctrica y calorífica.

Esta es una tecnología sobre la que se están invirtiendo grandes esfuerzos económicos en investigación y desarrollo, por ello, seguro que las pilas de combustible serán una tecnología muy presente en un futuro no muy lejano.

2.8.3. Sistemas de inyección de biogás en la red de gas natural

Cuando el biogás se inyecta en las redes de gas natural recibe el nombre de biometano (biogás con más del 97% de su contenido en metano). Para conseguir este porcentaje de concentración de metano, el biogás tiene que ser depurado previamente, para de esta forma alcanzar los requerimientos de calidad exigidos para introducirlo en la red de distribución del gas natural. La purificación del biogás en este caso consiste en: eliminación de CO₂, H₂S, NH₃, agua y partículas sólidas. Algunos países como Francia, Alemania y Suecia, han definido estándares de calidad del biogás, aunque sin embargo por el momento en España, todavía no disponemos de ninguna especificación. Además de estas exigencias de depuración, es necesaria la compresión del biometano hasta la presión necesaria de distribución de la red, lo que repercute en unos costes de inversión y explotación elevados.

3. LEGISLACIÓN APLICABLE AL BIOGÁS DE DIGESTIÓN DE MATERIAS PRIMAS AGROINDUSTRIALES

3.1. MARCO LEGISLATIVO

La presente relación de normas referentes a la obtención y comercialización del biogás en relación con el sector agrícola no pretende ser exhaustiva, sino dar una visión clara del marco legislativo en España.

3.1.1. Legislación de la UE

- Directiva 2009/73/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 13 de julio de 2009, sobre normas comunes para el mercado interior del gas natural y por la que se deroga la Directiva 2003/55/CE.
- Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y se derogan las directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE.
- Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas.
- Reglamento (CE) N° 1774 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 3 de octubre de 2002, por el que se establecen las normas sanitarias aplicables a los subproductos animales no destinados al consumo humano.
- Reglamento (CE) 1069/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo, del 21 de octubre de 2009, por el que se establecen las normas sanitarias aplicables a los subproductos animales y los productos derivados no destinados al consumo humano y por el que se deroga el Reglamento (CE) n° 1774/2002 (Reglamento sobre subproductos animales).
- Reglamento (CE) N° 185/2007 de la Comisión, de 20 de febrero de 2007, por el que se modifican los Reglamentos (CE) n° 809/2003 y /CE) n° 810/2003 en lo relativo a la validez de las medidas transitorias para las plantas de compostaje y biogás contempladas en el Reglamento (CE) n° 1774/2002 del Parlamento Europeo y del Consejo.
- Reglamento (CE) N° 92/2005 de la Comisión, de 19 de enero de 2005, por el que se aplica el Reglamento 1774/2002 del Parlamento Europeo y del Consejo en lo que se refiere a los métodos de eliminación o a la utilización de los subproductos animales y se modifica su anexo VI en lo concerniente a la transformación en biogás y la transformación de las grasas extraídas.
- Reglamento (CE) N° 208/2006 de la Comisión, de 7 de febrero de 2006, por el que se modifican los anexos VI y VIII del Reglamento 1774/2002 del Parlamento Europeo y del Consejo, en lo que se refiere a las normas de transformación para las plantas de biogás y compostaje y las condiciones aplicables al estiércol.

3.1.2. Legislación nacional

- Resolución del MITYC de 7 de abril de 2010, de la Secretaría de Estado de Energía, por la que se publican los valores del coste de la materia prima y del coste base de la materia prima del gas natural para el primer trimestre de 2010, a los efectos del cálculo de complemento de eficiencia y los valores retributivos de las instalaciones de cogeneración y otras en el Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.
- Real Decreto-Ley 6/2009, de 30 de abril, por el que se adoptan determinadas medidas en el sector energético y se aprueba el bono social.

- Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.
- Real Decreto 616/2007, de 11 de mayo, sobre fomento de la cogeneración.
- Plan de Energías renovables 2005-2010 (aprobado den Consejo de Ministros 26 de agosto de 2005).
- Real Decreto 324/2000, de 3 de marzo, por el que se establecen normas básicas de ordenación de las explotaciones porcinas.
- Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos.

3.1.3. Legislación autonómica

- Comunidad Autónoma de Andalucía, Ley 2/2007, de 27 de marzo, de fomento de las energías renovables y del ahorro y eficiencia energética en Andalucía.
- Comunidad Autónoma de Castilla La Mancha, Ley 1/2007, de 15 de febrero, de fomento de las energías renovables e incentivación del ahorro y la eficiencia energética en Castilla La Mancha.
- Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, Ley 10/2006, de 21 de diciembre, de energías renovables y ahorro y eficiencia energética de la Región de Murcia.

3.2. ANALISIS ACTUAL DEL MARCO LEGISLATIVO

A la hora de analizar el actual marco legislativo, es importante tener en cuenta los requisitos que van a afectar a las materias primas, a las instalaciones y sus actividades y a lo productos que se obtienen tras la digestión anaeróbica, es decir, tanto el biogás como el digestato.

3.2.1. Materias primas

En lo referente a las materias primas, la normativa que se debe aplicar va a depender de su origen. El artículo 1 de la Directiva 2008/98/CE define su objeto y ámbito de aplicación como “medidas destinadas a proteger el medio ambiente y la salud humana mediante la prevención o la reducción de los impactos adversos de la generación y gestión de los residuos, la reducción de los impactos globales del uso de los recursos y la mejora de la eficacia de dicho uso.”

Dicha Directiva señala en su artículo 2.1 “Queda excluido del ámbito de aplicación de la presente Directiva:”:

- f) materias fecales, si no están contempladas en el apartado 2.b), paja y otro material natura, agrícola o silvícola, no peligroso, utilizado en la agricultura, en la silvicultura o en la producción de energía a base de la biomasa, mediante procedimientos o métodos que no dañen el medio ambiente o pongan en peligro la salud humana.

Así mismo, dicha Directiva en su artículo 2.2 excluye “en la medida en que ya está cubierto por otra normativa comunitaria:

b) subproductos animales, incluidos los productos transformados cubiertos por el Reglamento (CE) nº 1774/2002, excepto los destinados a la incineración, los vertederos o utilizados en una planta de gas o compostaje;”.

Por tanto, la nueva Directiva de Residuos únicamente es de aplicación a los subproductos de origen animal cuando van a ser procesados en una planta de biogás y también es de aplicación al digestato resultante del proceso de metanización.

En consecuencia, de este artículo se desprende que a un subproducto de origen animal, como el estiércol, no le es de aplicación la Directiva de residuos cuando es valorizado directamente en la agricultura, pero sí le es de aplicación dicha Directiva al digestato procedente de la metanización del estiércol.

Teniendo en cuenta que la biodigestión anaeróbica es un proceso que estabiliza los materiales digeridos y por tanto mejora la calidad agronómica, en este caso del estiércol, parece lógico pensar que estos digestatos quedaran regulados como subproductos y biorresiduos de acuerdo con el artículo 5 y el artículo 3.4 de la nueva Directiva de residuos.

La Directiva 2008/98/CE incorpora la definición de biorresiduos (artículo 3.4) como: residuo biodegradable de jardines y parques, residuos alimenticios y de cocina procedentes de hogares, restaurantes, servicios de restauración colectiva y establecimientos de consumo al por menor, y residuos comparables procedentes de plantas de transformación de alimentos. El artículo 22 explica las medidas que se deben adoptar en el ámbito de los EEMM para su recogida, compostaje, digestión y tratamiento de forma que sean seguros para el medio ambiente.

La Directiva, también incorpora, por primera vez, la definición de subproducto “Una sustancia u objeto, resultante de un proceso de producción, cuya finalidad primaria no sea la producción de esa sustancia u objeto, puede ser considerada como subproducto y no como residuo con arreglo al artículo 3, punto 1, únicamente si se cumplen las siguientes condiciones:

- a) es seguro que la sustancia u objeto va a ser utilizado ulteriormente;
- b) la sustancia u objeto puede utilizarse directamente sin tener que someterse a una transformación ulterior distinta de la práctica industrial normal;
- c) la sustancia u objeto se produce como parte integrante de un proceso de producción; y
- d) el uso ulterior es legal, es decir la sustancia u objeto cumple todos los requisitos pertinentes para la aplicación específica relativos a los productos y a la protección del medio ambiente y de la salud, y no producirá impactos generales adversos para el medio ambiente o la salud humana.”

Por otra parte, en la actualidad, los subproductos de origen animal deben cumplir las condiciones que se especifican en el Reglamento (CE) nº

1774/2002, que será sustituido por el Reglamento 1069/2009 a partir del 4 de marzo de 2011.

Ambos Reglamentos dividen los subproductos de origen animal en tres categorías distintas, atendiendo a su nivel de riesgo para la salud pública y la salud animal. La categoría de un producto determinará las condiciones para su eliminación y uso, así como para su transporte y manejo en general. Ambos Reglamentos contemplan la posibilidad de utilizar los subproductos de las categorías 1,2 y 3 como posibles materias primas para la obtención de biogás, sujetos a cumplir determinadas medias de aplicación relacionadas con los pretratamientos necesarios antes de su utilización como materia prima para la producción de biogás, los parámetros de transformación, y las condiciones y destinos posibles del digestato obtenido, en función de la categoría de las materias primas utilizadas.

El Reglamento 1774/2002, en su artículo 15 y en el Anexo VI establece las que las plantas de biogás que utilicen subproductos animales requieren ser autorizadas de acuerdo con el reglamento, lo que supone el cumplimiento de una serie de requisitos:

- Las plantas de biogás deberán estar equipadas con:
 - a) una unidad de pasteurización/higienización de paso obligatorio con:
 - i) instalaciones para comprobar la evolución de la temperatura a lo largo del tiempo,
 - ii) dispositivos que registren los resultados de esas mediciones de forma continua, y
 - iii) un sistema de seguridad adecuado para evitar un calentamiento insuficiente; e
 - b) instalaciones adecuadas para la limpieza y desinfección de los vehículos y contenedores a la salida de la planta de biogás.

Sin embargo, no es obligatoria una unidad de pasteurización/higienización para las plantas de biogás que transformen sólo subproductos animales que hayan sido sometidos al proceso de transformación 1 (que supone un tratamiento de al menos 20 minutos a 133 °C a una presión absoluta de al menos 3 bares producida por vapor saturado), para los subproductos de categoría 3 que hayan sido pasteurizados/higienizados en otro lugar o para aquellos subproductos que pueden utilizarse como materia prima sin transformar (estiércol, contenido del tubo digestivo separado del tubo digestivo, leche y calostro).

Cada planta de biogás deberá disponer de su propio laboratorio o recurrir a un laboratorio externo. El laboratorio deberá estar equipado para efectuar los análisis necesarios y aprobado por las autoridades competentes.

Respecto a las condiciones de higiene, sólo los subproductos animales siguientes podrán ser objeto de transformación en una planta de biogás:

- a) material de la categoría 2 mediante la aplicación del método de transformación 1 en una planta de transformación de la categoría 2;
- b) estiércol y contenido del tubo digestivo, leche y calostro y
- c) material de la categoría 3.

Los materiales de categoría 1 pueden ser transformados en una planta de biogás mediante el método de producción de biogás por hidrólisis a alta presión, autorizado de acuerdo con el Reglamento (CE) 92/2005. Este método implica el pretratamiento del material de categoría 1 mediante el método 1 y la destrucción del digestato resultante mediante incineración, co-incineración o depósito en vertedero.

El material de la categoría 3 utilizado como materia prima en una planta de biogás equipada con una unidad de pasteurización/higienización deberá cumplir las siguientes condiciones mínimas:

- a) dimensión granulométrica máxima antes de entrar en la unidad: 12 mm;
- b) temperatura mínima de todo el material en la unidad: 70 °C, y
- c) permanencia mínima en la unidad sin interrupción: 60 min.

El reglamento contempla la posibilidad de que la autoridad competente (a nivel de cada estado miembro) autorice el uso de otros parámetros normalizados para los procesos siempre y cuando el solicitante demuestre que dichos parámetros reducen al mínimo los riesgos biológicos. Esta demostración requiere una validación del proceso propuesto de acuerdo con el contenido del punto C.13.bis del capítulo II del anexo VI del Reglamento 1774/2002.

Además, de manera transitoria hasta que se adopten normas de acuerdo con la letra g) del apartado 2 del artículo 6, la autoridad competente puede, cuando el único subproducto animal utilizado como materia prima en una planta de biogás o compostaje sean residuos de cocina, autorizar la utilización de normas de transformación distintas de las establecidas en los puntos 12 y 13 siempre que garanticen un efecto equivalente de reducción de patógenos.

El Reglamento 1774/2002 también obliga a que:

- Los subproductos sean transformados lo antes posible después de su llegada y tienen que ser almacenados correctamente hasta su transformación.
- Los contenedores, recipientes y vehículos utilizados para el transporte de material no tratado deberán limpiarse en una zona designada a tal efecto. Esa zona estará situada o diseñada para prevenir el riesgo de contaminación de los productos transformados.
- Se tomarán sistemáticamente medidas preventivas contra pájaros, roedores, insectos y otros parásitos. Para ello, se aplicará un programa de control de plagas documentado.
- Deberán fijarse y documentarse los procedimientos de limpieza para todas las zonas de las instalaciones. Deberán proveerse equipos de limpieza y agentes limpiadores adecuados.

- El control de la higiene deberá incluir inspecciones periódicas del entorno y el equipo. Deberán documentarse los programas de inspección y sus resultados.
- Las instalaciones y el equipo deberán mantenerse en buen estado de conservación; el equipo de medición deberá calibrarse periódicamente.

Las muestras de los residuos de fermentación y de compost tomadas durante el almacenamiento o en el momento de la salida del almacén en la planta de biogás deberán cumplir las normas siguientes:

Salmonella: ausencia en 25 g: $n = 5, c = 0, m = 0, M = 0$

Enterobacteriaceae: $n = 5, c = 2, m = 10, M = 300$ en 1 g

donde:

n = número de muestras que deben analizarse,

m = valor umbral del número de bacterias, el resultado se considera satisfactorio si el número de bacterias en todas las muestras no es superior a m ,

M = valor máximo del número de bacterias, el resultado se considera insatisfactorio si el número de bacterias en una o más muestras es igual o superior a M , y

c = número de muestras cuyo contenido bacteriano puede estar entre m y M ; la muestra se seguirá considerando aceptable si el contenido bacteriano de otras muestras es igual o inferior a m .

Estos valores se muestran de forma esquemática en la siguiente tabla:

Tabla 9. Valores máximos de microorganismos admisibles

Análisis del Digestato	Durante o inmediatamente después del tratamiento				Durante el almacenamiento o a la salida del almacén			
	n	c	m	M	n	c	m	M
Parámetros	n	c	m	M	n	c	m	M
<i>Escherichia coli</i>	5	1	1000	5000	--	--	--	--
<i>Enterococcaceae</i>	5	1	1000	5000	--	--	--	--
<i>Salmonella</i>	--	--	--	--	5	0	0	0

Además el Reglamento establece que:

- Las inspecciones y controles oficiales deben realizarse en intervalos regulares. Su frecuencia dependerá del tamaño de la planta, del tipo de subproductos que se transformen, de la evaluación del riesgo y de las garantías ofrecidas con arreglo a los principios del sistema de análisis de riesgo y puntos críticos de control (HACCP).
- Si las inspecciones realizadas por la autoridad competente revelan alguna irregularidad, dicha autoridad deberá adoptar las medidas pertinentes.
- Todos los EEMM elaborarán una lista de las plantas de biogás autorizadas dentro de su territorio. Cada una recibirá un número oficial que le servirá para identificar a las plantas en relación con la naturaleza de sus

actividades. Los EEMM enviarán copias de sus listas a los demás EEMM y a la Comisión.

El Reglamento 1069/2009, que derogará a partir del 4 de marzo de 2011 al Reglamento 1774/2002, mantiene dentro de su ámbito de aplicación la producción de biogás a partir de subproductos animales, así como la exigencia de autorización previa a las plantas que realicen esta operación. Las condiciones técnicas específicas se recogerán en un Reglamento de la Comisión, cuya publicación está prevista a finales de 2010. Este reglamento flexibilizará previsiblemente los requisitos vigentes actualmente; entre otras medidas que podrían adoptarse, figuran:

- la ampliación de la lista de casos en los que no es necesaria una unidad de pasteurización/higienización en la planta de biogás
- la posibilidad de aplicar los pretratamientos o la propia pasteurización/higienización después de la transformación en biogás.

3.2.2. Las instalaciones

Al analizar los requisitos exigidos por el Reglamento 1774/2002 en función del tipo de materias primas que emplean estas plantas de biogás ya se han recogido las exigencias que, de acuerdo con este Reglamento, deben cumplir las instalaciones. Pero, además deben cumplir otros en función de su actividad industrial y energética.

En cuanto a las instalaciones, se pueden clasificar según su actividad de gestión de residuos y subproductos, según su actividad industrial y según su actividad de producción de energía.

3.2.2.1. Requisitos legales y autorizaciones necesarias para las instalaciones según su actividad de gestión de residuos y subproductos

La normativa aplicable a las plantas de biogás según su actividad de gestión de residuos y subproductos, viene dictada por las tres normativas mencionadas en el apartado anterior: Ley 10/1998 de residuos, nueva Directiva Marco de Residuos o Directiva 2008/98/CE y el Reglamento (CE) 1774/2002 o Reglamento SANDACH.

3.2.2.2. Requisitos legales y autorizaciones necesarias para las instalaciones según su actividad industrial

Las tramitaciones ambientales que pueden afectar a una planta de biogás, las cuales se estudian en mayor profundidad en las líneas siguientes, son: autorización ambiental integrada o licencia ambiental, estudio de impacto ambiental, autorización de gestor de residuos no peligrosos, autorización de vertido a cauce o al colector municipal y otro tipo de tramitaciones posibles como autorización de uso en suelo rústico, autorización de captación de aguas...

Por otra parte, la normativa básica a consultar, es la que a continuación se detalla:

- **Ley 16/2002**, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación para la que se debe presentar la autorización ambiental correspondiente, correctamente cumplimentada.
- **Ley de Prevención Ambiental**, de la comunidad autónoma que corresponda. Se deberá adjuntar: autorización ambiental, licencia ambiental y estudio de impacto ambiental de la explotación.
- **Real Decreto Legislativo 1/2008**, de 11 de enero, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental. Se presentará debidamente cumplimentado el estudio de impacto ambiental.
- **Ley 10/1998**, de 21 de abril, de residuos, para lo que se requiere la autorización de gestor de residuos no peligrosos.
- **Reglamento de Dominio Público Hidráulico (DPH)**, para el que serán necesarias las autorizaciones de vertido, de captación y las Ordenanzas Municipales correspondientes, para las que se requerirán las autorizaciones de vertido pertinentes.
- **Orden MAM/1873/2004**, de 2 de junio, por la que se aprueban los modelos oficiales para la declaración de vertido y se desarrollan determinados aspectos relativos a la autorización de vertido y liquidación del canon de control de vertidos regulados en el Real Decreto 606/2003, de 23 de mayo, de reforma del Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento de Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los Títulos preliminar, I, IV, V, VI y VII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas. Será necesaria la autorización de vertido al Dominio Público Hidráulico (DPH) correspondiente.

Las tramitaciones administrativas necesarias para las instalaciones de biogás, son:

- a) **Autorización Ambiental:** el objetivo de las autorizaciones ambientales es el establecimiento de un sistema de prevención que integre en una autorización única las autorizaciones existentes en materia de vertido de aguas residuales, producción y gestión de residuos y emisiones a la atmósfera. Por ello las autorizaciones ambientales integran las autorizaciones de vertido, autorizaciones de gestor de residuos, autorizaciones de productor de residuos, declaración de impacto ambiental y la autorización de actividad potencialmente contaminadora de la atmósfera.

Los documentos necesarios que deberán adjuntarse a la autorización ambiental son:

- **Proyecto Básico:** el proyecto básico deberá contener la descripción de las actividades, instalaciones, procesos y tipo de producto; documentación para la obtención de licencia municipal de actividades;

informe de estado ambiental de lugar e impactos previstos; materias primas, sustancias y energía generados y empleados en la instalación; fuentes generadoras de emisiones: tipo y cantidades; medidas de prevención y gestión de residuos; y sistemas de emisiones y vertidos.

- Estudio de Impacto Ambiental.
 - Documentación necesaria para la Autorización de Gestor y Productor de residuos.
 - Datos atmosféricos de la zona en cuestión.
 - Documentación administrativa y otro tipo de documentación, como: solicitud firmada por el representante legal de la empresa; CIF de la empresa; escrituras de constitución de la empresa; informe de compatibilidad urbanística del ayuntamiento; resumen no técnico; cualquier otra documentación que puedan solicitar: modelización de residuos, de los niveles de emisión atmosférica, estudio de situación del suelo...
- b) Licencia Ambiental: la documentación necesaria para la correcta cumplimentación de licencia ambiental, que deberá ser presentada, es:
- Proyecto Básico: con la documentación señalada en el punto anterior.
 - Autorización de vertido.
 - Estudio de impacto ambiental, si fuese necesario.
 - Documentación administrativa y otro tipo de documentación, como: solicitud firmada por el representante legal de la empresa; escrituras de constitución de la empresa; CIF de la empresa; autorización de suelo rústico, en el caso que proceda; y resumen no técnico.
- c) Estudio de Impacto Ambiental: la normativa de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental, es el Real Decreto Legislativo 1/2008. Por otra parte, el estudio de impacto ambiental se presentará en el caso de las autorizaciones ambientales, junto al resto de documentación necesaria en la consejería de Medio Ambiente. Mientras que en el caso de las licencias ambientales, se presentará en el órgano sustantivo pertinente (existen opiniones dispares entre los ayuntamientos o las consejerías de Medio Ambiente correspondientes).
- d) Autorización para la valorización o eliminación de residuos: la normativa de referencia es la Ley 10/1998 de residuos. La autorización de gestor de residuos es necesaria cuando se utilice un residuo para su valorización. Hoy en día, sí que es necesaria para las instalaciones de biogás y de compostaje, según la consejería de Medio Ambiente correspondiente, aunque en un futuro su regulación se basara en la nueva Directiva Marco de Residuos.

- e) *Autorización de Vertido*: la autorización de vertido puede ser de dos tipos: “autorización de vertido a colector” o “autorización de vertido a dominio público hidráulico”. En el caso de las primeras, se presenta en el ayuntamiento pertinente y puede además ser necesaria una memoria, en función de la ordenanza de vertidos. Para las segundas, se presentarán en la Confederación Hidrográfica correspondiente; puede ser necesario la realización de un proyecto de depuración y/o estudio hidrogeológico.

3.2.2.3. Requisitos legales y autorizaciones necesarias para las instalaciones según su actividad de producción energética

Existen 4 normativas aplicables a las plantas de biogás según su actividad de producción energética: Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial; Real Decreto-ley 6/2009, de 30 de abril, por el que se adoptan determinadas medidas en el sector energético y se aprueba el bono social; Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica; y Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y se derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE.

El Real Decreto-ley 6/2009, establece el registro de preasignación de retribución para las nuevas instalaciones. La documentación necesaria exigida es:

- Concesión de punto de acceso y conexión firme.
- Autorización administrativa, la cual no será necesaria en el caso de las instalaciones cuya potencia no sea superior a 100 kW.
- Licencia de obras.
- Aval necesario para solicitar el acceso a la red de transporte y distribución.
- Recursos económicos propios o financiación suficiente para acometer el 50% de la inversión de la instalación.
- Acuerdo de compra por un importe equivalente del 50% del valor de los equipos.
- Punto de suministro de gas natural, en el caso de que dicho combustible se utilice como combustible principal.
- Informe favorable de aprovechamiento de aguas cuando sea necesario.
- Aval suplementario, depositado en la Caja General de Depósitos.

Por su parte, el Real Decreto 1955/2000 sobre la conexión y acceso a la red de distribución, establece que la construcción de las instalaciones eléctricas requiere las siguientes resoluciones administrativas:

- *Autorización Administrativa*: se refiere al anteproyecto de la instalación y se tramitará, en su caso, conjuntamente con el estudio de impacto ambiental.

- *Aprobación del proyecto de ejecución*: se refiere al proyecto concreto de la instalación y permite a su titular la construcción o establecimiento de la misma.
- *Autorización de explotación*: permite una vez ejecutado el proyecto, poner en tensión las instalaciones y proceder a su explotación comercial.

Y por último la Directiva 2009/28, de fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables, en la que en el artículo 13 se expone: “Los Estados miembros velarán por que las normas nacionales relativas a los procedimientos de autorización, certificación y concesión de licencias que se aplican a las instalaciones e infraestructuras conexas de transporte y distribución para la producción de electricidad, calor o frío a partir de fuentes de energía renovables, y al proceso de transformación de la biomasa en biocarburante u otros productos energéticos, sean proporcionadas y necesarias”.

De este modo, quedan definidas de la forma más clara y sencilla posible todos los requisitos legales y autorizaciones necesarios para la puesta en marcha y para el transcurso de una planta de biogás agroindustrial.

Cabe decir, en algunos casos, que la normativa anteriormente citada, depende particularmente de cada comunidad autónoma o municipio correspondiente.

Asimismo, para futuras consultas de esta guía, la redacción de la legislación anteriormente citada, se ha realizado en el mes de diciembre del año 2009, momento en el cual todos los requisitos legales necesarios estaban vigentes.

Por otro lado, el Real Decreto 324/2000, por el que se establecen normas básicas de ordenación de las explotaciones porcinas, establece distancias mínimas entre las explotaciones que pueden dificultar la instalación de plantas de biogás, sobre todo cuando las explotaciones ganaderas son de pequeño tamaño y se concentran en determinados territorios, ya que el coste del transporte podría convertirse en un impedimento adicional.

3.2.3. Digestato

La Directiva 2008/98/CE establece en el artículo 6 las condiciones en las que los residuos dejarán de tener dicha condición, entre ellas, cuando hayan sido sometidos a una operación, incluido el reciclado, de valorización y cumplan los criterios específicos que se elaboren, con arreglo a las condiciones siguientes:

- a) la sustancia u objeto se usa normalmente para finalidades específicas;
- b) existe un mercado o una demanda para dicha sustancia u objeto;
- c) la sustancia u objeto satisface los requisitos técnicos para las finalidades específicas, y cumple la legislación existente y las normas aplicables a los productos; y
- d) el uso de la sustancia u objeto no generará impactos adversos globales para el medio ambiente o la salud.

Los criterios incluirán valores límite para las sustancias contaminantes cuando sea necesario y deberán tener en cuenta todo posible efecto medioambiental nocivo de la sustancia u objeto.

Por otro lado, la Directiva obliga a los EEMM a que los residuos se sometan a operaciones de valorización lo hagan conforme a lo establecido en los artículos 4 y 13. A su vez, en su Anexo II, considera como valorización el “tratamiento de los suelos que produzca un beneficio a la agricultura o una mejora ecológica de los mismos”.

Por lo tanto, la utilización del digestato resultante de digestión anaerobio agroindustrial está respaldada por la propia Directiva Marco de Residuos, aunque para ello, debe cumplir los requisitos que se exigen a los fertilizantes, de entre los que destacan:

- *Real Decreto 1310/1990, de 29 de octubre, por el que se regula la utilización de los lodos de depuración en el sector agrario* y que establece los límites de los metales pesados que pueden contener en función del pH de los suelos.
- *Real Decreto 261/1996, de 16 de febrero, por el que se establecen las medidas necesarias sobre protección de las aguas contra la contaminación producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias* y que limita a 170 kg de N por ha y año que puede aplicarse en las zonas vulnerables.
- *Real Decreto 824/2005, de 8 de julio, sobre productos fertilizantes*, modificado por Orden APA/836/2008, de 25 de marzo, por la que se modifican los anexos I, II, III y VI del Real Decreto 824/2005. Se establecen las características que deben cumplir los abonos nitrogenados y, por tanto, el digestato. En el Anexo IV aparece el digestato dentro de la lista de los residuos orgánicos biodegradables”, siempre que cumplan lo exigido en el Anexo VI del Reglamento 1774/2002.

4. EL BIOGÁS EN EUROPA

Según la Directiva 2009/28/CE, el uso de materiales agrícolas, como estiércol, purines y otros residuos animales y orgánicos, para la producción de biogás, tiene un gran potencial desde el punto de vista de evitar emisiones de gases de efecto invernadero, así como grandes ventajas ambientales. Además, las instalaciones de biogás pueden contribuir al desarrollo de las zonas rurales, ofreciendo a los agricultores nuevas posibilidades de ingresos.

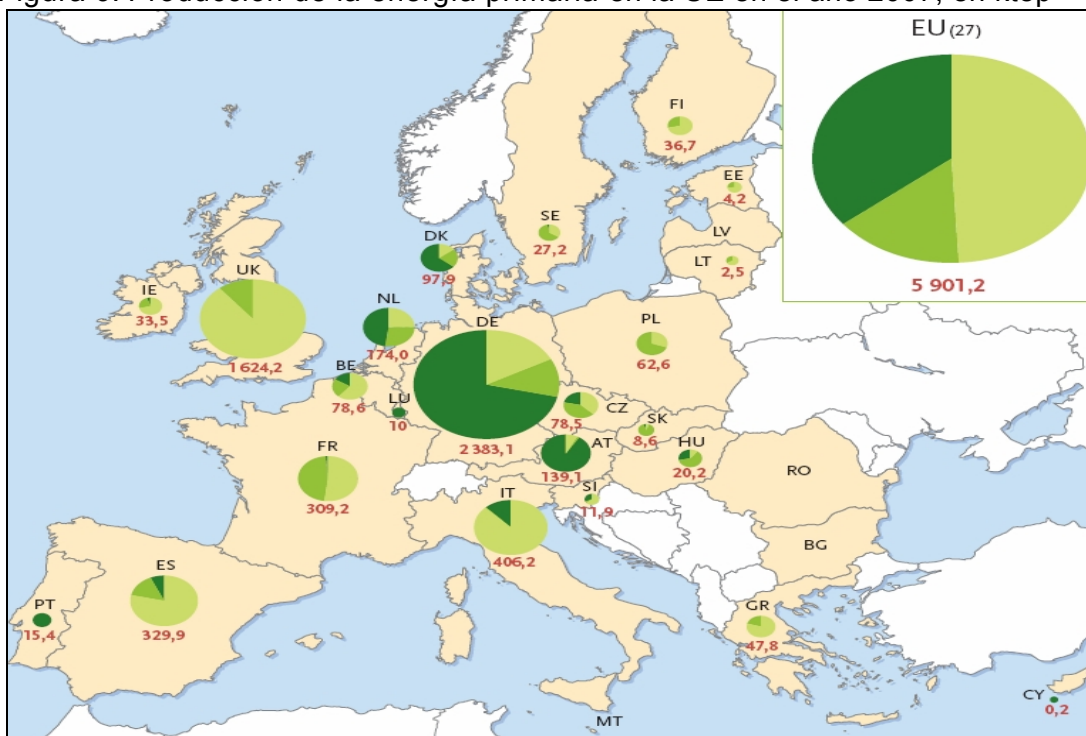
La biomasa supone en la actualidad sólo 2/3 de la energía renovable en Europa y de acuerdo con el estudio de la Agencia de Medio Ambiente Europea (EEA, 2006 “How much bionergy can Europe produce without harming the environment?”) no se está explotando en todo su potencial la agricultura y debería esperarse un gran crecimiento en los próximos años.

Para junio de 2010 los EEMM de la UE deben desarrollar sus planes de acción de energías renovables, donde deben marcarse objetivos concretos de producción de calor, electricidad y transporte, la cantidad que se produce en

cada caso a partir de fuentes de energía renovables y las medidas que se adopten para alcanzar dichos objetivos. En este contexto, es importante integrar la producción de biogás.

Como se observa en la figura 9, la producción total de biogás en Europa, es de 5.901,2 ktep, de los cuales aproximadamente el 49% procede de vertederos, el 36% de biogás de digestores y el 15% restante de depuradoras, lo que se corresponde con 2.905, 2.108 y 887 ktep respectivamente.

Figura 9. Producción de la energía primaria en la UE en el año 2007, en ktep

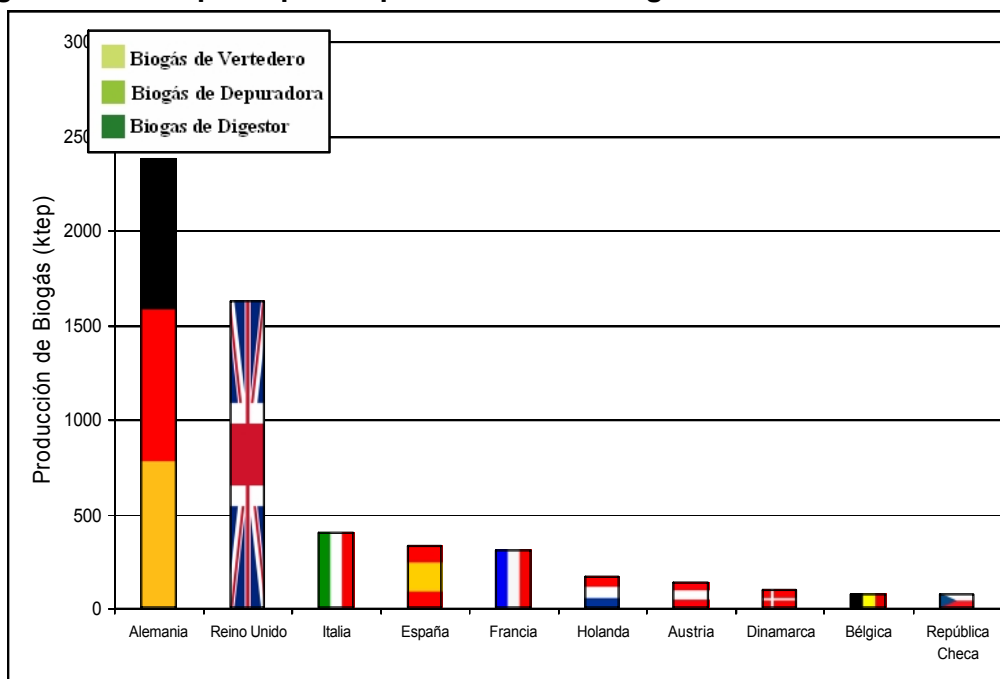


Fuente: EurObserv'ER

En España la producción total de biogás de 329,9 ktep, de los cuales el 79% procede de biogás de vertedero, 15% de depuradoras y el 6% de digestores. Estos datos demuestran que hasta el momento, en España no se ha producido un crecimiento de biogás de digestión equivalente al de los principales países miembros.

A pesar de lo dicho anteriormente, España ocupa el cuarto puesto en cuanto a la producción de biogás se refiere dentro de la Unión Europea, gracias a su elevada producción de biogás obtenido a partir de vertedero. En la figura 10, se muestra el “top ten”, de países productores de biogás en Europa.

Figura 10. Principales países productores de biogás en la UE



Fuente: Elaboración MARM a partir de datos obtenidos de EurObsér'ER.

Algunos de los países más representativos en la producción de biogás de digestión en Europa que estamos analizando en este documento son:

- **Alemania:** es el mayor productor de biogás de la UE, con 2383,1 ktep totales (alrededor del 40% de la producción total europea) y por lo tanto, el país que más ha desarrollado esta tecnología. Aproximadamente, el 70% de la producción total de las energías renovables en Alemania, proviene de la biomasa¹.
 - En Alemania, existen más de 4000 plantas de biogás siendo la mayoría de ellas pequeñas, es decir, con una potencia instalada comprendida entre 50 y 500 kW y con una potencia eléctrica instalada total de unos 1.500 MWh. Esto supone una creación de 10.500 puestos de trabajo y una reducción en las emisiones de CO₂, de 6,4 millones de toneladas en el año 2007.
 - En las plantas de biogás alemanas, más del 75% de los sustratos empleados están formados por cultivos energéticos (silo de maíz, cereal, ensilado de hierba...), los cuales presentan unos elevados rendimientos de producción de metano. Por otra parte, el negocio del biogás en Alemania está mucho más desarrollado debido a las elevadas primas y retribuciones de venta de la energía eléctrica (existen primas por el uso de cultivos energéticos). Asimismo, también se incentiva económicamente la incorporación del biogás ya depurado, es decir biometano (biogás con más del 97% de metano), a la red de gas natural.

¹ El término biomasa se refiere a toda la materia orgánica que proviene de árboles, plantas y animales que pueden ser convertidas en energía.

- La Federación alemana de Biogás (FvB) prevé que para finales de 2010, Alemania cuente con un total de 5.700 instalaciones con una capacidad productiva de 2.200 MW y la potencia instalada media se espera que se reduzca en 2010 a los 430 KW, desde los 500 Kw del 2009. Probablemente esto se debe a un aumento del interés en instalar digestores en los que se fermenten cantidades importantes de estiércol de origen animal y de esta manera, los agricultores alemanes se podrían beneficiar del cobro de una bonificación adicional que ascendería a 4 céntimos/Kwh por el aprovechamiento de este tipo de sustrato.
- *Dinamarca*: es el octavo máximo país productor de biogás de Europa, con 97,9 ktep totales. De cualquier forma, sería más indicativo hablar de toneladas equivalentes de petróleo, por cada 1000 habitantes, ya que aunque Dinamarca sea el octavo máximo productor, ocupa el cuarto lugar en producción energética de biogás por habitante, con 18 tep por cada mil habitantes. Del mismo modo debido a la densidad de población, España ocupa el décimo lugar en cuanto a la producción de biogás se refiere, con 7,4 tep/1000 habitantes.
 - En el año 2008, existían en Dinamarca 20 plantas centralizadas y 55 plantas individuales. Las plantas individuales son aquellas en las que la carga diaria de sustrato es menor que 50 m³ y en las que el digestato se reparte en las parcelas próximas como fertilizante; este tipo de plantas presentan un elevado crecimiento desde el año 2000. Por su parte las centralizadas, son las plantas en las que la carga del sustrato es de 60 a 500 m³ al día y se purifica posteriormente el digestato.
 - Además, Dinamarca es uno de los países pioneros en la inyección de biogás en la red de gas natural, lo que favorece que se puedan cumplir los objetivos previstos para el año 2025 según el gobierno danés: triplicar la producción actual de biogás.
- *Austria*: es el séptimo país productor de energía primaria de biogás en Europa, con una producción de 139,1 ktep. Al igual que sucedía con Dinamarca, será más indicativo realizar una comparación de las toneladas equivalentes de petróleo por cada mil habitantes, en el que Austria ocupa el quinto lugar detrás de Dinamarca, con una producción de 16,8 tep/1000 hab.
 - En Austria predominan las plantas de biogás pequeñas, aquellas que presentan una potencia instalada menor de 500 kW.

4.1. LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN ALEMANIA

Alemania es el país con mayor producción de energía de biogás por habitante de Europa, con una producción de 29 tep por cada mil habitantes.

Figura 11. Producción de energía en Alemania

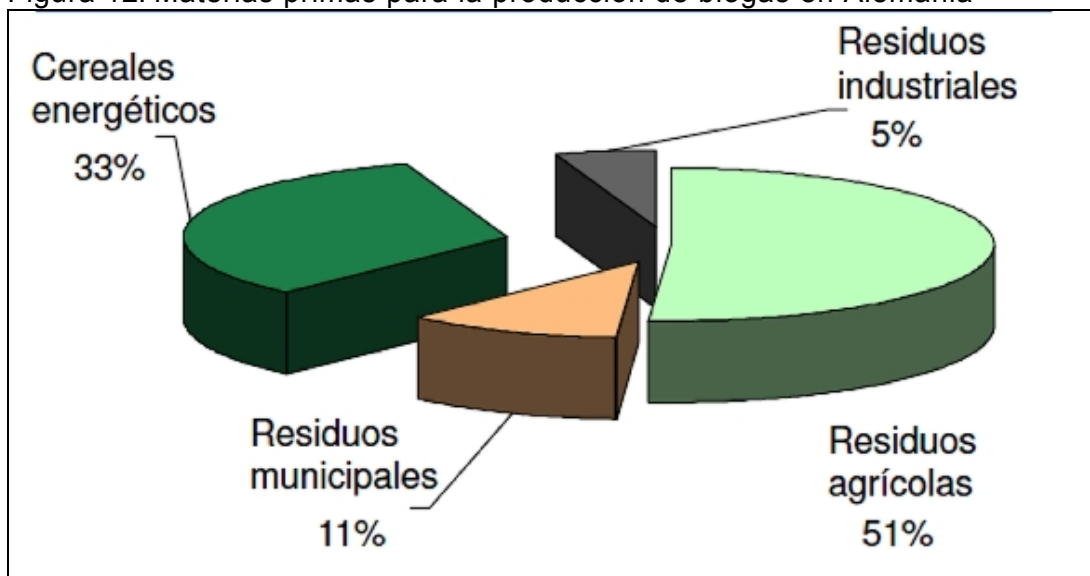
	2008
Potencia eléctrica instalada	1,400 MW
Producción de electricidad	11 millones kWh
Parte de energías renovables en la producción de electricidad	10 %
Producción de biometano	2.75 billones m ³
Cifra de negocio – construcción	1 billon €
Cifra de negocio – electricidad	1 billon €
Cuota de exportación	~20 %
Empleos	> 10.000
Reducción de CO ₂ en 2007	8.5 millones t/a

Fuente: Asociación Alemana de Biogás

El tamaño más habitual de una planta en Alemania es de unos 400 kW, aunque hay grandes compañías productoras de energía que están proyectando grandes instalaciones de más de 20 MW.

Los residuos agrícolas y los cultivos energéticos (fundamentalmente cereales) son los principales sustratos para la producción de biogás y existe una prima para fomentar su uso en la Ley de energías renovables hay materias primas renovables (prima NaWaRo).

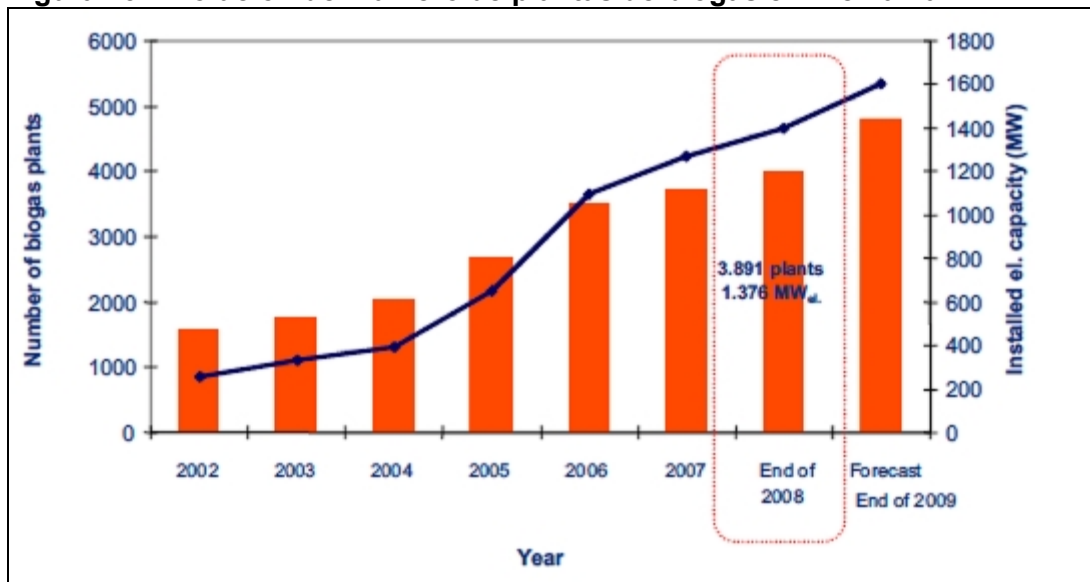
Figura 12. Materias primas para la producción de biogás en Alemania



Fuente: Asociación Alemana de Biogás

El número de plantas de biogás instaladas en Alemania ha ido creciendo de forma constante, si bien entre 2006 y 2008 el ritmo de crecimiento se había ido ralentizando. Sin embargo, a principios de 2009 volvió a crecer la construcción de plantas de biogás, debido a la enmienda a la Ley Alemana de Energías Renovables (EEG) para incentivar el aprovechamiento de subproductos.

Figura 13. Evolución del número de plantas de biogás en Alemania



Fuente: Asociación Alemana de Biogás

En enero de 2009 se empezó a aplicar la nueva Ley de Energías Renovables. Alemania se planteaba aumentar la eficiencia del uso de biogás, utilización del biometano como combustible para vehículos y mejorar el acceso al biogás (incluso para uso doméstico). La inyección de biometano a la red de gas natural persigue conseguir que en el año 2020 el 6% del gas natural que se consume sea biometano y en 2030 sea el 10%.

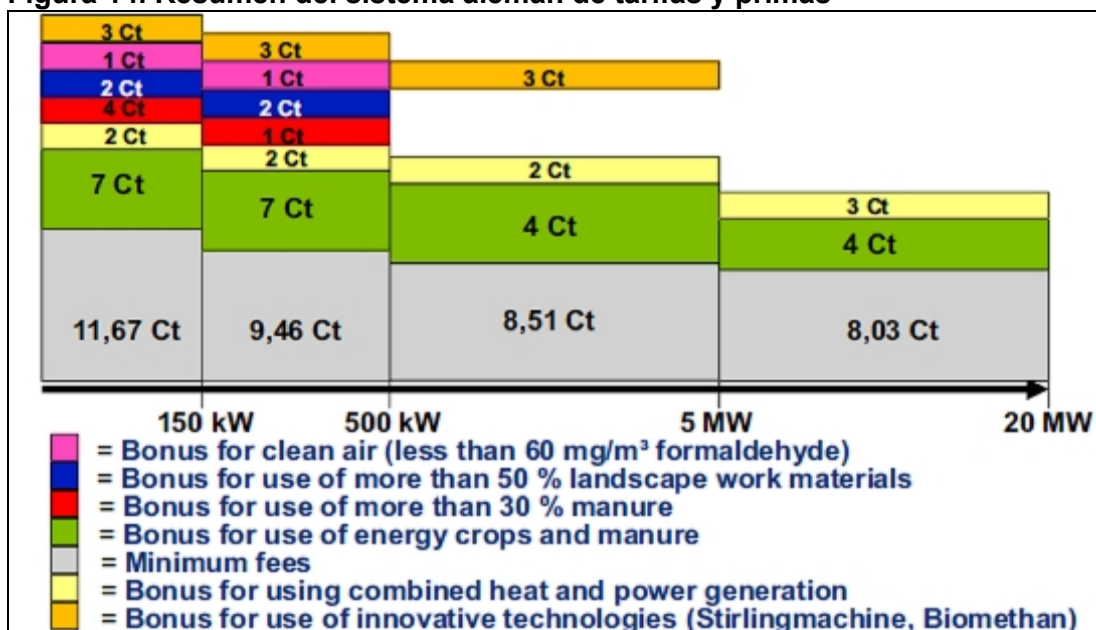
Para lograr este objetivo, Alemania se apoya en cuatro bloques normativos:

- Ley de Energías renovables de 2009
- Regulaciones de acceso a la red de gas
- Ley sobre remuneración de la red de gas
- Ley del calor renovable

4.1.1. Ley de energías renovables de 2009

En la Ley se contempla una bajada de las tarifas base (del 1%, en el caso del biogás y del 1,5% para otros tipo de gas). Sin embargo, hay un aumento en las primas, así, la prima por utilizar materias primas renovables aumenta hasta 2 ct/kWh, llegando a 8 ct/kWh en plantas de menos de 500 kW. Además, en plantas de menos de 150 kW se puede aplicar una prima de 4 ct/kWh por emplear un mínimo del 30% de estiércol como sustrato (en plantas de hasta 500 kW de potencia, se reduce a 1 ct/kWh).

Figura 14. Resumen del sistema alemán de tarifas y primas



Fuente: Asociación Alemana de Biogás

Dicho sistema prevé una aplicación por tramos, en la que, en plantas de 150 kW se puede llegar a pagar hasta 30,67 ct/kWh, dependiendo de las primas que se puedan aplicar.

La Asociación Alemana de Biogás acogió de forma muy favorable esta nueva ley y calculaba que para finales del año 2009 habría contribuido a que se abrieran 600 nuevas plantas. Para Josef Pellmeyer, presidente de dicha asociación, las pequeñas de hasta 190 kW están recuperándose.

4.1.2. Regulaciones de acceso a la red de gas

El responsable del proyecto es el responsable de la valorización estándar del gas, siendo el dueño de la red el que debe encargarse de la mayor valorización (odorización, mayor compresión del biometano, medida de las características del gas antes de su inyección, etc.). El dueño de la red debe llevar a cabo todas las acciones necesarias (viabiles económicamente) para permitir la inyección a la red a lo largo de todo el año. El dueño de la red posee la conexión y es responsable de su mantenimiento. Sin embargo, los costes de la conexión a la red (hasta 10 km, incluyendo el sistema de medida y regulación de la presión) deben compartirse al 50% entre el dueño de la red y del proyecto.

4.1.3. Ley de calor renovable

Su objetivo es conseguir que en 2020 el 14% de la calefacción en Alemania provenga de energías renovables. Para ello en los nuevos edificios el biometano debería cubrir el 30% de la demanda global de calor.

4.1.4. Tendencia en la producción de biogás en Alemania

En la actualidad (y según Asociación Alemana de Biogás) la tendencia entre las plantas de biogás es la siguiente:

- Plantas pequeñas de biogás, adaptadas a los sitios locales y que emplean estiércol líquido como cosustrato, para beneficiarse de las primas y que aprovechan el calor
- Utilización más intensiva del calor para varios conceptos
 - Uso local y directo (edificios, invernaderos, establos, etc.)
 - Aportación a sistemas de calor públicos
 - Distribución con sistemas de microgás y motores satélites
 - Acumulador de calor
 - Ciclo orgánico
 - Etc
- Alimentación a la red de gas natural
 - Producción de electricidad y calor con gran eficiencia
 - Usar como equivalente de gas natural
- Uso de biogás en vehículos
- Almacén de biogás (por ejemplo, en centrales térmicas combinadas, equilibrio con energías eólicas y solares).
- Desarrollo de una “marca de calidad” del digestato para certificar su calidad agronómica como fertilizante.

5. SITUACIÓN DEL BIOGÁS EN ESPAÑA

En el Plan de Energías Renovables (PER) 2005-2010 se considera la producción de biogás como una energía renovable que además representa una solución medioambiental y de tratamiento de residuos. Así mismo, en los países de nuestro entorno, también se considera el biogás en general y el del sector agroindustrial en particular como una energía renovable, que además tiene una componente medioambiental de reducción de emisiones evitadas de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en el sector eléctrico.

Por tanto, el aprovechamiento energético del biogás debe considerarse como una importante fuente de energía renovable, que fundamentalmente se obtiene a partir de cuatro tipos de subproductos orgánicos: los residuos sólidos urbanos (RSU), los lodos de las plantas de depuración de aguas residuales urbanas, los efluentes de las industrias agroalimentarias y los diferentes tipos de estiércoles ganaderos.

Además del potencial energético del biogás, se debe tener en cuenta también la importancia medioambiental y económica de esta fuente de energía renovable, tanto en la reducción de emisiones evitadas de CO₂ de la producción eléctrica como en la reducción de los costes de la compra de derechos de emisión para el cumplimiento de los compromisos de España en relación con el Protocolo de Kyoto, así como la inherente eliminación de emisiones de metano, óxido nitroso y emisiones radiactivas de alta actividad.

En este sentido según los datos del último Inventario Español de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de 2008, en la Tabla 10 se pueden observar las emisiones totales y en la Figura 15 su evolución porcentual en el periodo 1990-2008 tomando como base 100 el Año Base del Protocolo de Kyoto. De ello se desprende que en el año 2008 las emisiones totales de GEI alcanzaron en

España las 405,1 Mt de CO₂-equivalente, lo que supone un 39,8% de aumento respecto a las emisiones del año base de 1990, o lo que es lo mismo, 24,8 puntos porcentuales de exceso sobre el compromiso adquirido en el Protocolo de Kyoto (15%).

Tabla 10. Inventario de Gases de Efecto Invernadero España. 1990-2008

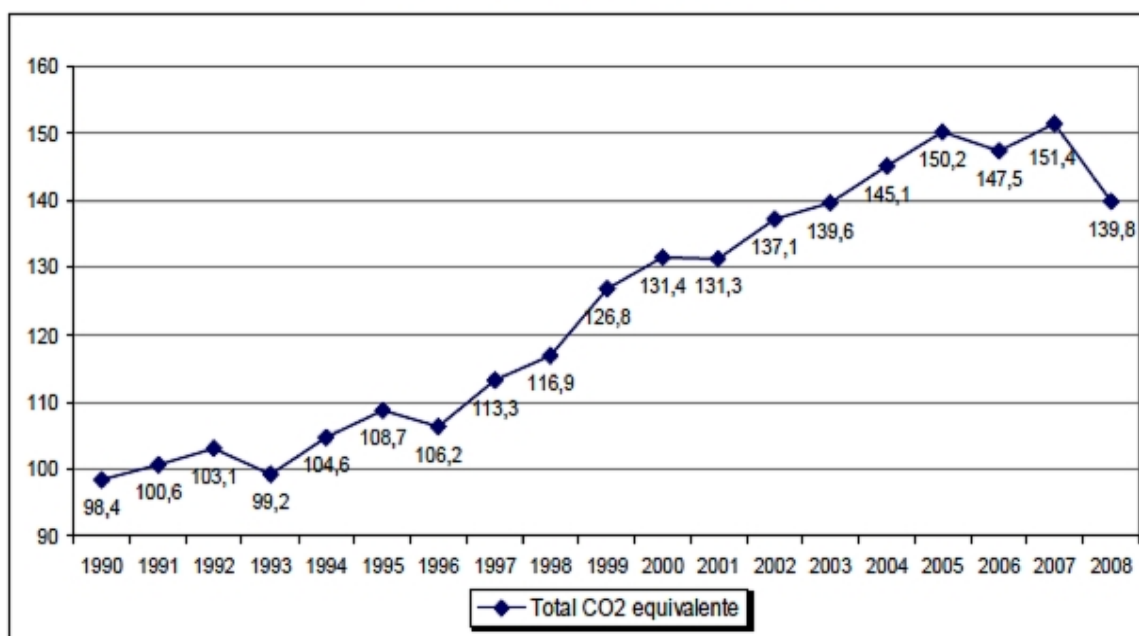
(Cifras en kilotoneladas de CO₂-eq)

Año Base PK	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997			
	289.773	285.123	291.552	298.780	287.339	303.125	314.967	307.752	328.280		
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
	338.741	367.322	380.797	380.500	397.390	404.601	420.447	435.112	427.281	438.677	405.048

Fuente: MARM

Figura 15. Inventario de Gases de Efecto Invernadero España. 1990-2008

Evolución de las emisiones de CO₂-eq



Fuente: MARM

En la Tabla 11 y Figura 16 se reseñan la distribución de emisiones totales, porcentaje de las mismas en los distintos sectores, así como se evolución en el periodo 1990-2008 y se puede observar que la principal fuente de emisión de CO₂ es el sector energético con el 78,46% de las emisiones totales, por lo que sus incrementos anuales en el periodo considerado tiene una mayor incidencia que para el caso del tratamiento de los residuos ,que pese a haber tenido una similar evolución temporal, representan únicamente el 3,84% de las emisiones totales de GEI. Las emisiones en 2008 del sector agrario (9,6%), procesos industriales (7,72%) y usos de disolventes (0,38%) se han mantenido prácticamente constante desde el año 1998.

Tabla 11. Inventario de Gases de Efecto Invernadero España. 1990-2008

Emisiones por grupo de actividad. Valores absolutos

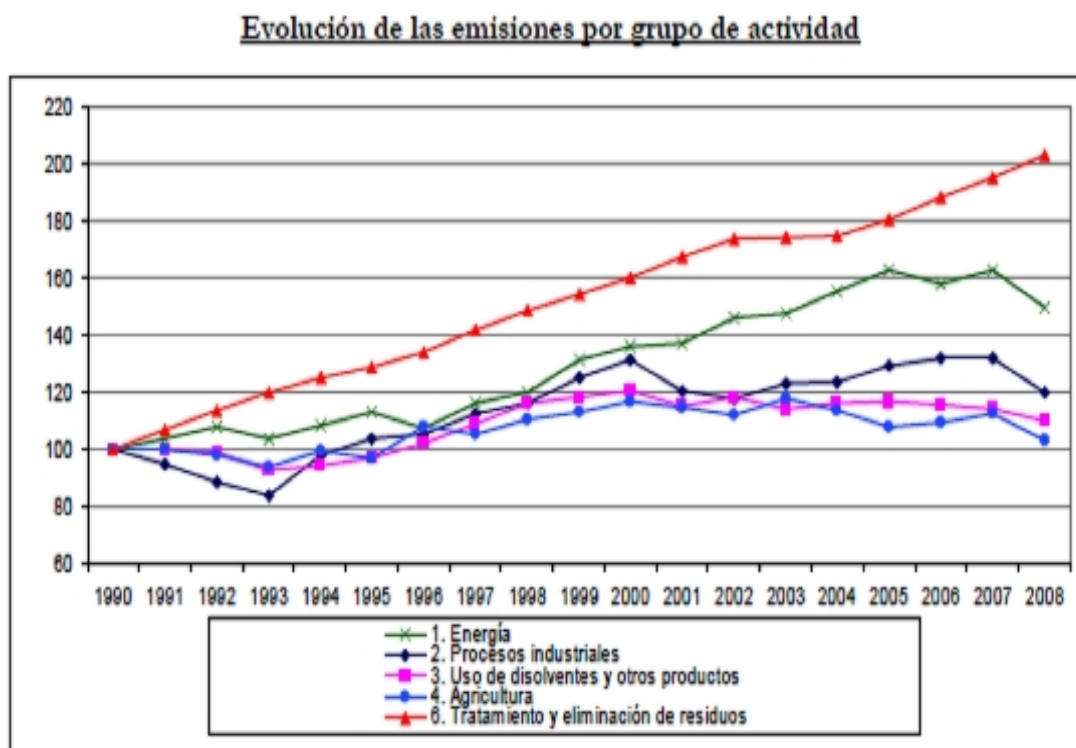
CATEGORÍAS FUENTE (1)	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
	kilotoneladas de CO ₂ -eq																		
1. Procesado de la energía	212.225,93	219.633,22	228.731,41	219.709,92	229.320,55	240.176,86	227.981,86	246.771,62	253.900,71	278.613,79	288.651,72	291.427,14	309.512,63	313.072,54	330.312,72	345.399,42	335.539,55	345.409,83	317.657,85
2. Procesos industriales	26.114,63	24.681,41	23.101,98	21.871,83	25.533,20	27.047,34	27.428,76	29.426,66	30.273,76	32.666,23	34.234,94	31.410,38	30.751,95	32.132,24	32.272,33	33.702,45	34.422,98	34.375,96	31.342,06
3. Uso de disolventes y otros productos	1.387,85	1.389,57	1.371,44	1.280,62	1.309,25	1.343,58	1.416,40	1.506,65	1.608,91	1.642,04	1.667,08	1.597,23	1.643,44	1.582,83	1.612,99	1.619,52	1.604,11	1.580,05	1.527,15
4. Agricultura	37.743,39	37.691,67	36.886,62	35.312,09	37.402,13	36.565,28	40.665,95	39.720,05	41.587,50	42.575,02	43.999,45	43.257,36	42.176,26	44.463,44	42.863,70	40.568,91	41.298,10	42.347,41	38.955,64
6. Tratamiento y eliminación de residuos	7.651,49	8.156,20	8.688,23	9.164,40	9.559,53	9.833,72	10.258,63	10.854,70	11.370,28	11.824,61	12.244,29	12.807,98	13.305,80	13.349,99	13.385,73	13.821,96	14.416,65	14.963,53	15.565,45
Total categorías	285.123,29	291.352,07	298.779,69	287.338,86	303.124,66	314.966,77	307.751,61	328.279,68	338.741,15	367.321,68	380.797,48	380.500,09	397.390,08	404.601,04	420.447,48	435.112,27	427.281,39	438.676,78	405.048,15

Emisiones por grupo de actividad. Porcentajes de distribución

CATEGORÍAS FUENTE (1)	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
	Porcentajes																		
1. Procesado de la energía	74,43	75,33	76,56	76,46	75,65	76,25	74,08	75,17	74,95	75,85	75,80	76,59	77,89	77,38	78,56	79,38	78,53	78,74	78,42
2. Procesos industriales	9,16	8,47	7,73	7,61	8,42	8,59	8,91	8,96	8,94	8,89	8,99	8,26	7,74	7,94	7,68	7,75	8,06	7,84	7,74
3. Uso de disolventes y otros productos	0,49	0,48	0,46	0,45	0,43	0,43	0,46	0,46	0,47	0,45	0,44	0,42	0,41	0,39	0,38	0,37	0,38	0,36	0,38
4. Agricultura	13,24	12,93	12,35	12,29	12,34	11,61	13,21	12,10	12,28	11,59	11,55	11,37	10,61	10,99	10,19	9,32	9,67	9,65	9,62
6. Tratamiento y eliminación de residuos	2,68	2,80	2,91	3,19	3,15	3,12	3,33	3,31	3,36	3,22	3,22	3,37	3,35	3,30	3,18	3,18	3,37	3,41	3,84
Total categorías	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Fuente: MARM

Figura 16. Inventario de Gases de Efecto Invernadero España. 1990-2008



Fuente: MARM

En consecuencia, actuaciones que potencien la producción de energías renovables como el biogás, permitirán reducir las emisiones del capítulo de generación energética del Inventario Nacional de GEI, que representan unas emisiones para el Mix energético español del entorno de 400 gramos de CO₂ equivalente por kilowatio hora generado. Ello ayudará a cumplir con el Plan Nacional de Asignación (PNA) de derechos de emisión de GEI 2008-2012, aprobado por Real Decreto 1370/2006, en donde se ha marcado como objetivo que las emisiones globales de GEI en España no superen en más de un 37% las del año base en promedio anual en el período 2008-2012 (actualmente son del 39,8%). Se prevé alcanzar esta cifra a través de la suma del objetivo Kyoto (15%), la cantidad absorbida por los sumideros (2%) y el equivalente adquirido en créditos de carbono procedentes de los mecanismos de flexibilidad del Protocolo de Kyoto (20%).

Otro factor que tiene una importancia capital a la hora de marcar las prioridades de inversión en el sector energético PER 2011-2020, será el cálculo del sobreprecio de la tarifa eléctrica de la producción energética del biogás respecto al precio de la tarifa eléctrica del pool español y que permita rentabilizar las instalaciones de producción. Este sobrecoste deberá ser justificado en cualquier caso con los costes de la compra de derechos de emisión que España deberá asumir para cumplir con los compromisos del Protocolo de Kyoto, teniendo en cuenta que actualmente la tonelada de CO₂ equivalente se sitúa en el entorno de los 20 euros.

5.1. PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN ESPAÑA

Para el caso del biogás, los objetivos del PER 2005-2010 eran incrementar en 94 Mw. la potencia instalada en 2004 que era de 141 Mw. para de esa forma alcanzar la final del 2010 los 235 Mw. No obstante, de acuerdo con datos del IDAE la potencia instalada de biogás en 2009 es de 159 MW y por tanto el nivel de cumplimiento actualmente es del 68%, siendo necesaria la instalación de 76 Mw. adicionales durante el año 2010 si se quieren alcanzar las previsiones del PER 2005-2010.

La referida potencia instalada de 159 Mw., que generan aproximada 600 GWh. de electricidad, procede fundamentalmente de biogás de tres fuentes: residuos sólidos urbanos, lodos de depuradoras de aguas residuales urbanas (EDAR) y de subproductos orgánicos agroindustriales. En la tabla 12 se reseñan los porcentajes de cada una de estas fuentes.

Tabla 12. Distribución de biogás en España

Procedencia	2010	2010
Vertederos de RSU	115 Mw	72,3 %
Digestores FORSU	19 Mw	12,0 %
Lodos de EDAR	11 Mw	6,9 %
Digestores Agroindustriales	14 Mw.	8,8%

Fuente: IDAE

Las previsiones del PER 2005-2010 establecían los siguientes objetivos según sustrato y potencial de producción de biogás: 110.000 tep procedentes de la fracción orgánica de los RSU, 40.000 tep procedentes de residuos industriales biodegradables, 30.000 tep procedentes de lodos EDAR y 8.000 tep procedentes de las deyecciones ganaderas.

No obstante, aunque actualmente el 72,3% de la producción de biogás en España tiene su origen en los vertederos, esta proporción deberá disminuir en los próximos años, debido a que la nueva Directiva sobre vertederos pretende conseguir, entre otros objetivos, que la cantidad de materia orgánica que se deposite en los mismos sea cada vez menor.

Estas restricciones legales de los vertederos, unido a la tendencia descendente de la curva de generación de gas de los mismos, van a reducir considerablemente la producción de biogás en un inmediato futuro y por otra parte se debe tener en cuenta que el biogás de lodos de depuradoras se mantendrá en los niveles actuales de producción, una vez que ya se han finalizado en España los planes de depuración de aguas residuales urbanas en los principales núcleos urbanos.

En consecuencia, si se quiere mantener o incrementar la generación de energía a partir del biogás en España, deberá procederse al impulso de la digestión anaerobia de los estiércoles ganaderos en codigestión con residuos agroindustriales.

5.2. POTENCIAL DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS AGROINDUSTRIAL EN ESPAÑA

Para efectuar una evaluación del potencial del biogás agroindustrial en España, es imprescindible conocer previamente la producción total de las principales materias primas susceptibles de ser digeridos y teniendo en cuenta las particularidades de su producción, estimar la cantidad real de los mismos que pueden ser utilizados en la producción de biogás.

Aunque en la mayoría de los países europeos el desarrollo del biogás se ha efectuado en base a la utilización de los cultivos energéticos como cosustrato, en España esta posibilidad se ve muy limitada por nuestras condiciones agroclimáticas. En consecuencia deberán buscarse cosustratos alternativos entre los residuos de los cultivos y/o entre los SANDACH que al mezclarles con los estiércoles y purines permitan obtener unos rendimientos en producción de biogás que rentabilicen las instalaciones.

Por ello, a continuación se efectuará una evaluación de los diferentes subproductos y residuos generados en la actividad agroindustrial española, entre los que se incluirán los estiércoles y purines del sector ganadero, los subproductos de origen animal no destinados a consumo humano (SANDACH), los residuos vegetales de la industria agroalimentaria y los subproductos de la industria de biocarburantes.

5.2.1. Estiércoles y purines generados por le sector ganadero

De acuerdo con el censo agrario de 2008 y en base a los datos sobre producción de estiércoles y purines de las diferentes categorías de animales de las distintas especies, la producción total de los mismos se recoge en la Tabla 13 siguiente:

TABLA 13.- PRODUCCIÓN TOTAL DE ESTIERCOLES Y PURINES DEL SECTOR GANADERO (AÑO 2008)

ESPECIE GANADERA	ESTIERCOLES (Tn/año)	% RESPECTO AL TOTAL DEL SECTOR GANADERO
VACUNO		
Vacas lecheras	18.476.328,00	14,15%
Vacas y novillas nodrizas	31.826.408,60	24,37%
Cebo	8.037.044,50	6,16%
Otros	6.315.747,95	4,84%
TOTAL VACUNO	64.655.529,05	49,52%
OVINO		
	11.565.983,32	8,86%
TOTAL OVINO	11.565.983,32	8,86%
CAPRINO		
	1.666.964,15	1,28%
TOTAL CAPRINO	1.666.964,15	1,28%
AVICULTURA		
Aves Ponedoras	714.707,10	0,55%
Broilers	1.020.765,70	0,78%
TOTAL AVICULTURA	1.735.472,80	1,33%
ESPECIE GANADERA	PURINES (m ³ /año) (*)	% RESPECTO AL TOTAL DEL SECTOR GANADERO
PORCINO		
Intensivo		
Cerdas	12.303.940,00	9,42%
Lechones (6-20)	2.538.134,52	1,94%
Cebo (20-100 kg)	31.118.437,80	23,83%
TOTAL PORCINO INTENSIVO	45.960.512,32	35,20%
Extensivo		
	4.988.916,53	3,82%
TOTAL PORCINO EXTENSIVO	4.988.916,53	3,82%
TOTAL SECTOR GANADERO	130.573.378,17	

(*)

Fuente: MARM

Esta producción total de estiércoles y purines del sector ganadero español que se reseña en la tabla anterior, no puede tomarse íntegramente como fuente generadora de biogás del sector, ya que se deberán descontar los estiércoles y purines del ganado extensivo. En este sentido, de acuerdo con las características productivas de las diferentes especies ganaderas españolas, únicamente se consideran a efectos de cálculo del potencial de producción de biogás: el vacuno de leche y cebo, el porcino intensivo y la avicultura tanto de puesta como de carne (Broilers). No obstante, teniendo en cuenta que la

producción de broilers en España se efectúa preferentemente sobre cama de aserrín, este sustrato, que representan 1.020.765,70 de toneladas por año, tiene unos bajos índices de producción de biogás y por tanto, antes de decidir su incorporación en los digestores, deberá evaluarse esta circunstancia junto a que sus características intrínsecas puede causar problemas en el funcionamiento de los digestores.

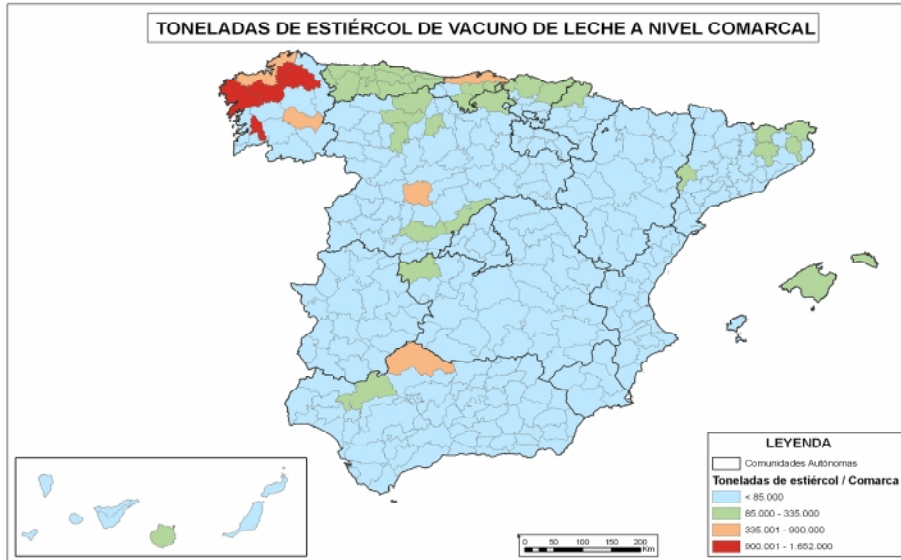
En consecuencia, la producción de estiércoles y purines en España, susceptibles de ser utilizados en la producción de biogás se recogen en la Tabla 14 siguiente:

Tabla 14.- PRODUCCIÓN TOTAL DE ESTIERCOLES Y PURIN DE GANADERÍA INTENSIVA (AÑO 2008)		
ESPECIE GANADERA	ESTIERCOLES (Tn/año)	% RESPECTO AL TOTAL DEL SECTOR GANADERO INTENSIVO
VACUNO		
Vacas lecheras	18.476.328,00	24,90%
Cebo	8.037.044,50	10,83%
TOTAL VACUNO	26.513.372,50	35,73%
AVICULTURA		
Aves Ponedoras	714.707,10	0,96%
Broilers	1.020.765,70	1,38%
TOTAL AVICULTURA	1.735.472,80	2,34%
ESPECIE GANADERA	PURINES (m ³ /año) (*)	% RESPECTO AL TOTAL DEL SECTOR GANADERO INTENSIVO
PORCINO		
Intensivo		
Cerdas	12.303.940,00	10,95%
Lechones (6-20)	2.538.134,52	3,42%
Cebo (20-100 kg)	31.118.437,80	41,93%
TOTAL PORCINO INTENSIVO	45.960.512,32	61,93%
TOTAL SECTOR GANADERO INTENSIVO	74.209.357,62	

(*)Se considera que la densidad del purín es uno, siendo el m³ equivalente a la Tm.
Fuente: MARM

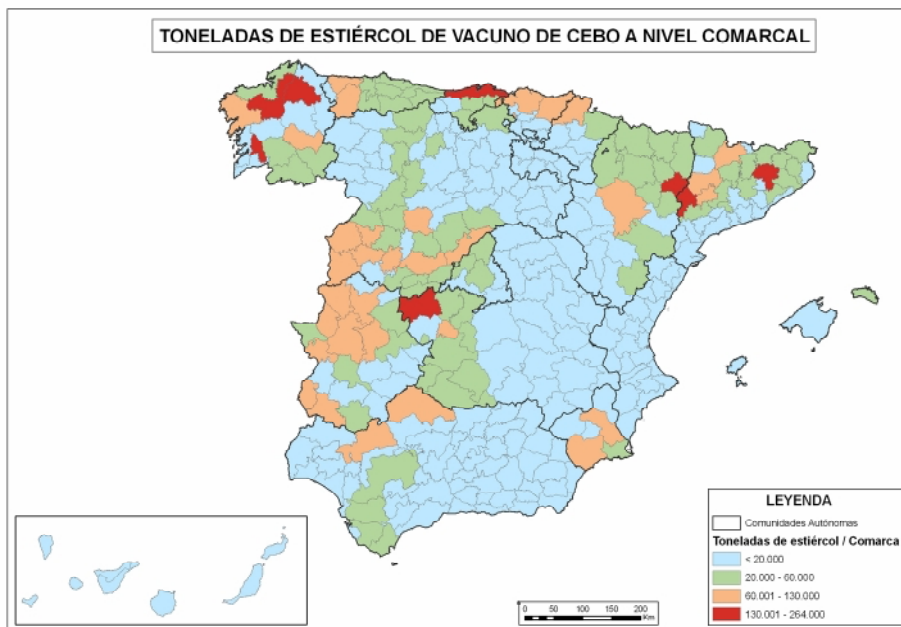
La distribución comarcal de las especies ganaderas intensivas se recoge en las Figuras 17 a 21 siguientes:

Figura 17. Mapa de distribución comarcal vacuno de leche



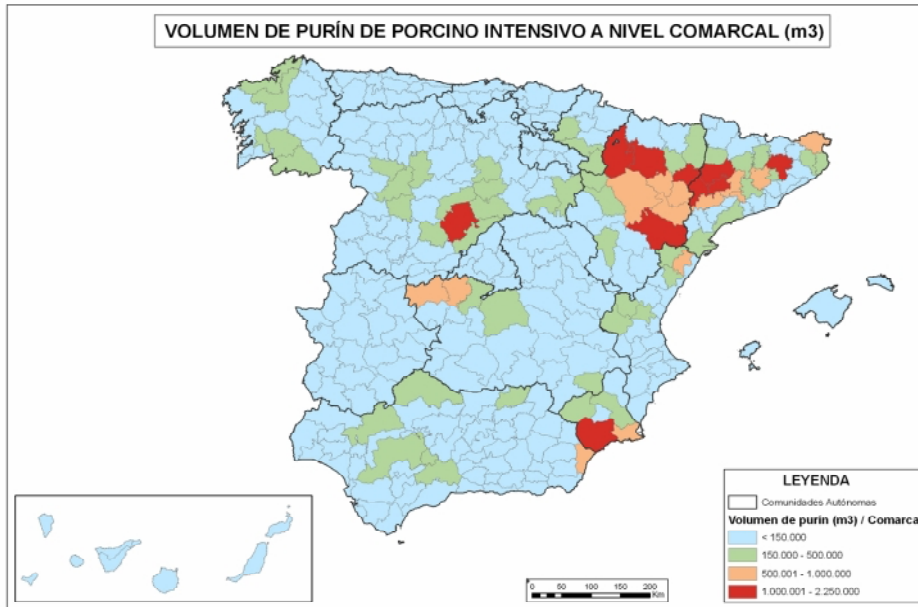
Fuente: MARM

Figura 18. Mapa de distribución comarcal vacuno de cebo

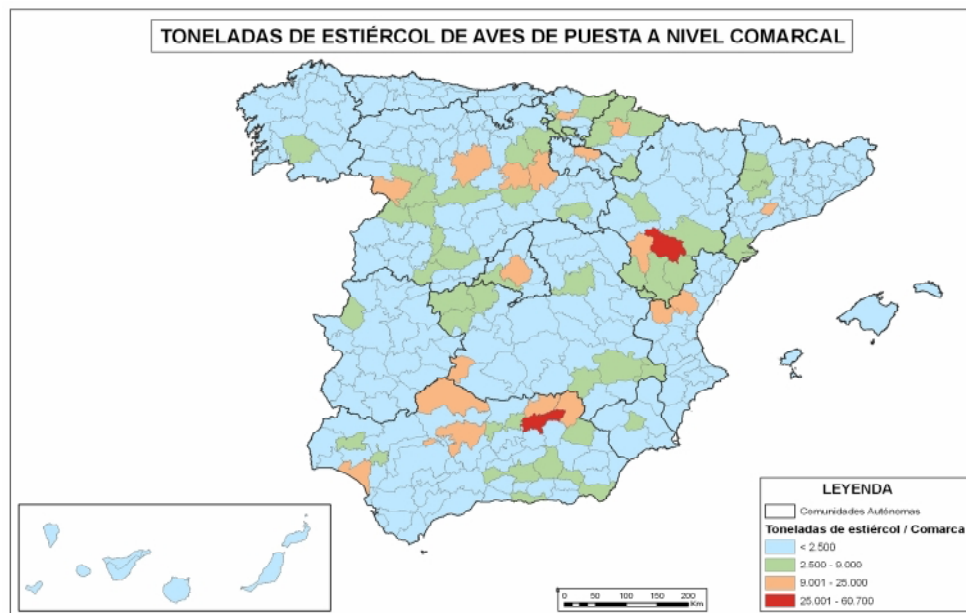


Fuente: MARM

Figura 18. Mapa de distribución comarcal porcino

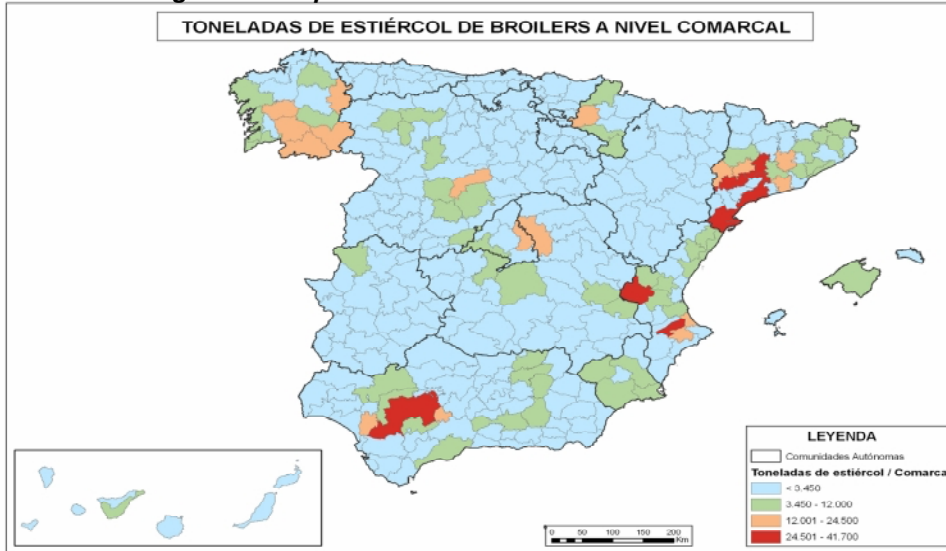


Fuente: MARM



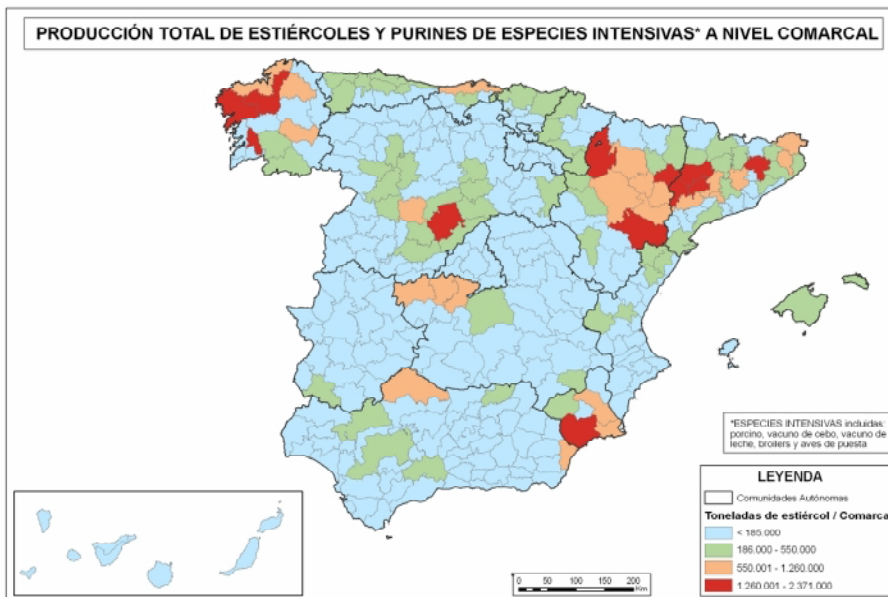
Fuente: MARM

Figura 20. Mapa de distribución comarcal broilers



Fuente: MARM

Figura 21. Mapa de distribución comarcal de estiércoles y purines



Fuente: MARM

Esta distribución de la cabaña ganadera intensiva, unido a su concentración, servirá de referencia a la hora de seleccionar la localización de las instalaciones de biogás, las cuales deberán superar un tamaño mínimo que permita rentabilizar el aprovechamiento energético del biogás.

5.2.1.1 Producción biogás de estiércoles y purines.

Con los ratios sobre producción de biogás de los distintos tipos de estiércoles y purines y de las producciones totales de los mismos de las diferentes especies ganaderas Tabla 14, se calcula el potencial de producción total de biogás de la cabaña española que se recoge en la Tabla 15 siguiente.

TABLA 15.- POTENCIAL DE PRODUCCIÓN DE BIOGAS DE ESTIERCOLES Y PURINES DE LA GANADERÍA INTENSIVA (AÑO 2008)

ESPECIE GANADERA	ESTIERCOLES (Tm/año)	PRODUCCION BIOGAS (m ³ /Tm estiércol)	PRODUCCIÓN TOTAL (m ³ /año)	COMENTARIOS
VACUNO				
Vacas lecheras	18.476.328,00	24,00	443.431.872,00	
Cebo	8.037.044,50	48,00	385.778.136,00	El alto contenido de paja causa problemas de costra en el digestor
TOTAL VACUNO	26.513.372,50	31,28	829.210.008,00	
AVICULTURA				
Aves Ponedoras	714.707,10	95,00	67.897.174,50	El alto contenido en Nitrógeno imposibilita la monodigestión
Broilers	1.020.765,70	130,00	132.699.540,82	El alto contenido en Nitrógeno imposibilita la monodigestión
TOTAL AVICULTURA	1.735.472,80	115,59	200.596.715,32	
ESPECIE GANADERA	PURINES (m ³ /año)	PRODUCCION DE BIOGAS (*) (m ³ /m ³ purín)	PRODUCCIÓN TOTAL (m ³ /año)	
PORCINO				
Intensivo				
Cerdas	12.303.940,00	8,00	98.431.520,00	
Lechones (6-20)	2.538.134,52	10,00	25.381.345,20	
Cebo (20-100 kg)	31.118.437,80	12,00	373.421.253,60	
TOTAL PORCINO INTENSIVO	45.960.512,32	10,82	497.234.118,80	
TOTAL SECTOR GANADERO INTENSIVO	74.209.357,62	20,58	1.527.040.842,12	

Fuente: MARM. (*) Monografía INIA

5.2.2. Producción de SANDACH, excluido estiércoles y purines

De acuerdo con estimaciones realizadas por la Comisión Nacional SANDACH, la generación potencial de subproductos de origen animal no destinados a consumo humano, en explotaciones ganaderas y en mataderos es de más de un millón ochocientas mil toneladas anuales. La Tabla 16 desglosa esta cifra por tipos de subproducto, origen y categoría.

Tabla 16.
Producción anual de SANDACH en España por categorías, excluido estiércoles (2008)

	SUBPRODUCTO	MAMÍFEROS (Kg)	AVICULTURA (Kg)	TOTAL (Kg)
CATEGORIA 1 DE SANDACH No apto para plantas de biogás	Material específico de riesgo (MER)	77.709.373		172.799.373
	Vísceras no aptas para consumo humano y partes de cadáveres prohibidos en consumo humano debido a la presencia de ciertas sustancias prohibidas y residuos o contaminantes y residuos medioambientales			
	Material recogido durante el tratamiento de aguas residuales en mataderos en los que los MER se eliminan			
	Animales muertos en granjas. Rumiantes (Se incluyen en esta categoría por que en España no se les suele retirar el MER antes de su eliminación)	95.090.000		
CATEGORIA 2 DE SANDACH Apto para plantas de biogás, previos tratamiento por Método 1	Vísceras no aptas para consumo humano y partes de cadáveres prohibidos en consumo humano debido a la presencia de residuos de medicamentos veterinarios o contaminantes que superen los niveles máximos permitidos	22.715.595		292.623.819
	Animales muertos durante el transporte o en espera en matadero		14.356.224	
	Animales muertos en granjas. No rumiantes	255.552.000		
CATEGORIA 3 DE SANDACH Apto para plantas de biogás, previos tratamiento de pasteurización / higienización	Grasas	221.249.452		1.359.963.217
	Sangre	213.191.036	57.424.895	
	Estómagos	27.579.438	70.495.984	
	Intestinos	16.022.960		
	Otras vísceras (pulmones, hígado, bazos...)	129.571.000	77.898.285	
	Huesos, cuernos, pezuñas...	86.147.312		
	Pelaje, plumas	49.674.710	101.672.780	
	Patas, cabezas, cuellos (aves)		169.768.859	
Piel y pellejos	139.266.506			
TOTAL		1.333.769.382	491.617.027	1.825.386.409

Fuente: MARM

No se dispone de información actualizada sobre las cantidades de subproductos generadas en otros sectores, tales como la industria alimentaria, la distribución alimentaria o los residuos de cocina.

La cifra estimada de subproductos de explotaciones ganaderas y mataderos se reseña en la tabla anterior, no puede considerarse en su totalidad como potencial fuente generadora de biogás del sector.

Como se ha indicado anteriormente, para la obtención de biogás a partir de subproductos de categoría 1 el reglamento establece condiciones muy específicas de tratamiento y requiere la eliminación posterior del digestato, por lo que su utilización pierde interés como posible materia prima.

En cuanto al material de categoría 2 indicado en la Tabla 16, requiere procesamiento previo con el método 1. Este procesamiento se lleva a cabo en plantas de transformación autorizadas que obtienen de los subproductos grasa y harinas de carne y hueso. De acuerdo con el libro blanco de los SANDACH, la cantidad media de harina obtenida es del 40% del peso de la materia prima. Ello representaría una producción potencial de harinas de 117.050 toneladas anuales, que podrían utilizarse para la producción de biogás. El problema es que en la actualidad apenas existen plantas de transformación autorizadas para categoría 2 (tres, a enero de 2010). La mayor parte de los cadáveres de animales se están procesando en plantas de categoría 1 (existen 23 a enero de 2010), por lo que adquieren a su vez esta categoría, perdiendo interés como materia prima para la producción de biogás.

En cuanto a los subproductos de Categoría 3, debe considerarse que algunos de ellos no serán utilizados en la producción de biogás por cuestiones técnicas: los huesos, cuernos, pezuñas, pelaje, plumas, patas, cabezas, cuellos (aves), pieles y pellejos. El resto de subproductos de esta categoría 3 son a priori buenas materias primas para la producción de biogás, por requerir sólo una pasteurización/higienización previas, pero son a la vez materias primas demandadas para la fabricación de piensos para animales de compañía (el sector cifra en 1.500.000 Tm aproximadamente el volumen de subproductos animales procesado en España para este fin). Por tanto, para la utilización de subproductos de categoría 3 para la producción de biogás, los operadores tendrían que competir en el mercado por esta materia prima

En consecuencia, en España de todos los subproductos potencialmente utilizables para la producción de biogás, los de categoría 2, una vez transformados en harinas de carne y hueso serían los más interesantes para la producción de biogás, al no disponer de una demanda tan elevada para otros usos, como sucede con la categoría 3, ni requerir requisitos específicos como ocurre con la categoría 1. La Tabla 17 siguiente recoge una estimación de la potencial disponibilidad de harinas de carne y hueso de categoría 2.

Debe tenerse en cuenta, como se ha comentado, la poca disponibilidad de plantas de transformación de categoría 2, que complica la obtención de esta materia prima. Una posible vía de solución a este problema es combinar la actividad de transformación con la de producción de biogás en la misma planta.

Por otro lado, el nuevo marco legislativo que se aplicará a partir de marzo de 2011 a los subproductos animales podría flexibilizar alguno de los requisitos

exigidos a la producción de biogás, y esto podría facilitar en algunos casos el uso de materiales de categoría 2 para este fin.

Tabla 17. Producción anual de SANDACH para biogás en España, por categorías, excluido estiércoles (2008)

	SUBPRODUCTO	MAMÍFEROS (Tm)	AVICULTURA (Tm)	TOTAL (Tm)
CATEGORIA 2 Apto para plantas de biogás, previos tratamiento por Método 1	Harinas			117.050
TOTAL				117.050

Fuente: MARM

5.2.2.1 Producción de biogás de SANDACH, excluido estiércoles y purines

Con los ratios sobre producción de biogás de las harinas SANDACH y con la producción total de los mismos de la Tabla 17, se calcula el potencial de producción total de biogás de los SANDACH que se recoge en la Tabla 18 siguiente.

Tabla 18. Producción anual de biogás SANDACH en España, por categorías, excluido estiércoles (2008)

	SUBPRODUCTO	PRODUCCION (Tm)	BIOGÁS (m ³ /Tm)	TOTAL BIOGAS (m ³)	COMENTARIOS
CATEGORIA 2 Apto para plantas de biogás, previos tratamiento por Método 1	Harinas	117.050	469	54.896.450	Alto contenido de nitrógeno, utilizar como cosustrato
TOTAL		117.050	469	54.896.450	

Fuente: MARM

Estos datos sobre producción de biogás deben evaluarse teniendo en cuenta que actualmente la producción de harinas de Categoría 2 se está procesando en plantas de Categoría 1 y por tanto no pueden ser utilizadas en la producción de biogás. Además de los de categoría 3 que son utilizados actualmente para alimentación de animales de compañía.

Si a todo esto le unimos que en base a las características intrínsecas de los SANDACH, estos deberán utilizarse en una proporción limitada como cosustratos, es fácil deducir que el potencial teórico de aproximadamente 55 millones de m³ de producción de biogás se vera reducido considerablemente.

5.2.3. Producción de residuos vegetales, de la industria agroalimentaria y de la industria bioenergética

En este apartado se va a cuantificar una serie de subproductos resultantes de la actividad agrícola y de la industria agroalimentaria, así como de la industria bioenergética, que se consideran susceptibles de ser utilizados en la producción de biogás, clasificándolos en tres grandes grupos:

- **Residuos vegetales.**
- **Subproductos industria de transformación de productos agrícolas y ganaderos.**
- **Subproductos de la industria bioenergética.**

Residuos vegetales.

En este grupo se incluye una gran variabilidad de residuos, pero a efecto de su valorización como materia prima para producir biogás, se excluirán todos aquellos difícilmente metanizables por su alto contenido en celulosa o lignina, como es el caso de la paja de cereales y similares. También se excluirán las mermas de los cultivos hortícola y frutícola, debido a sus elevados costes y dificultades logísticas en la recuperación.

En consecuencia únicamente se tendrán en cuenta la “retirada de productos hortícola y frutícola” contempladas en los Programas Operativos del MARM y que para una producción total de 24 millones de toneladas de producción en el año 2008, se efectuaron unas retiradas por un montante total de aproximadamente 125.000 toneladas. Hay que señalar que esta cifra de retirada va disminuyendo cada año y deberá tenerse en cuenta a la hora de hacer las previsiones de futuro.

Subproductos industria de transformación de productos agrícolas y ganaderos.

En este apartado se incluirán diferentes tipos de subproductos de las industrias de transformación del sector agrario, agrupadas en función de sus características intrínsecas para producir biogás y del volumen generado.

Se excluyen de este apartado la producción de alpechines de las almazaras, ya que actualmente en estas industrias se ha implantado con carácter general los sistemas de dos fases en el proceso de producción de aceite y resultando un residuo conocido como alperujo que debido a sus características intrínsecas son difícilmente metanizable.

Los residuos generados en las industrias de transformación de frutas y hortaliza, alcanzan anualmente una cifra estimada en un 1.000.000 de toneladas. La generación de bagazo de la industria cervecera española se estima en 500.000 toneladas anuales.

En la industria del vino se generan lías y orujos del proceso en si de producción del vino y las vinazas que sed originan en la destilación de excedentes de vino. En la valoración energética de estos subproductos no se

contabilizará la producción estimada de 550.000 toneladas anuales de orujos, ya que por sus características intrínsecas son difícilmente metanizable. Por tanto, en la industria del vino se generarán 250.000 toneladas anuales de lías y de la destilación de cuatro millones de hectolitros anuales se generan 350.000 toneladas anuales de vinazas.

La industria azucarera también es generadora de subproductos susceptibles de producir biogás, como la pulpa y la melaza de remolacha cuyas producciones anuales estimadas son de 280.000 toneladas y 220.000 toneladas respectivamente.

De la industria láctea el principal subproducto que puede utilizarse como materia prima en la producción de biogás es el suero de leche generado en la fabricación de quesos. La producción en 2009 de leche de vaca fue aproximadamente de 6 millones de toneladas y 20% fue destinada a la fabricación de queso, lo que representan 1,2 millones de toneladas de leche de vacuno. En este mismo año la producción de leches de cabra y oveja fueron respectivamente 426.000 y 416.000 toneladas, lo que hace un total de 842.000 toneladas, de las que se puede estimar que el 90% se destina a la fabricación de queso. En consecuencia, teniendo en cuenta que en España se destina anualmente un total de 2.042.000 toneladas de leche a la fabricación de quesos, se puede estimar una producción de 1.800.000 toneladas por año de suero.

Subproductos de la industria del biodiésel.

De acuerdo con informes de APPA, la capacidad de producción de las instalaciones de producción de biodiesel en España en 2009 era de 4.088.820 Tm/año y la producción real fue de 204.693 Tm/año. Esta producción genera aproximadamente 20.000 Tm. de glicerina por año.

En la Tabla 19 se resumen la producción en España de residuos vegetales, así como subproductos de la industria agroalimentaria y de la industria bioenergética.

Tabla 19.- PRODUCCIÓN DE RESIDUOS VEGETALES, DE LA INDUSTRIA AGROALIMENTARIA Y DE LA INDUSTRIA BIOENERGÉTICA (AÑO 2009)

SUBPRODUCTOS	Tm/año	% RESPECTO AL TOTAL
Residuos vegetales	125.000	
TOTAL RESIDUOS VEGETALES	125.000	2,75%
INDUSTRIAS DE TRANSFORMACIÓN AGRICOLA Y GANADERA		
Frutas y hortalizas	1.000.000	
Bagazo de cerveza	500.000	
Lías	250.000	
Vinazas	350.000	
Pulpa de remolacha azucarera	280.000	
Melaza de azucarera	220.000	
Suero de leche	1.800.000	
TOTAL INDUSTRIAS TRANSFORMACION AGRICOLA Y GANADERA	4.400.000	96,81%
INDUSTRIAS BIOCARBURANTES		
Glicerina	20.000	
TOTAL INDUSTRIA BIOCARBURANTES	20.000	0,44%
TOTAL	4.545.000	

Fuente: MARM

5.2.3.1 Producción de biogás de residuos vegetales, de la industria agroalimentaria y de la industria bioenergética

Con los ratios medios sobre producción de biogás de los distintos tipos residuos vegetales, de la industria agroalimentaria y de la industria bioenergética y con las producciones totales de los mismos de la Tabla 19, se calcula el potencial de producción total de biogás en la Tabla 20 siguiente.

Tabla 20.- PRODUCCIÓN DE BIOGAS DE RESIDUOS VEGETALES, DE LA INDUSTRIA AGROALIMENTARIA Y DE LA INDUSTRIA BIOENERGÉTICA (AÑO 2009)

SUBPRODUCTOS	PRODUCCIÓN (Tm/año)	BIOGAS (*) (m³/Tm ó m³)	TOTAL BIOGAS (m³)
TOTAL RESIDUOS VEGETALES	125.000	106	13.250.000
INDUSTRIAS DE TRANSFORMACIÓN AGRICOLA Y GANADERA			
Frutas y hortaliza	1.000.000	106	106.000.000
Bagazo de cerveza	500.000	92	46.000.000
Lías	250.000	36	9.000.000
Vinazas	350.000	25	8.750.000
Pulpa de remolacha azucarera	280.000	106	29.680.000
Melaza de azucarera	220.000	250	55.000.000
Suero de leche	1.800.000	37	66.600.000
TOTAL INDUSTRIAS TRANSFORMACION AGRICOLA Y GANADERA	4.400.000	73	321.013.000
INDUSTRIAS BIOCARBURANTES			
GLICERINA	20.000	686	13.720.000
TOTAL	4.545.000	77	347.983.000

Fuente: MARM

(*)Valores promedio

5.2.4 RESUMEN DE PRODUCCIÓN DE SUBPRODUCTOS AGROINDUSTRIALES Y SU POTENCIAL PRODUCTIVO EN BIOGAS

En la Tabla 21 se recogen de una forma resumida, la producción de los diferentes tipos de subproductos agroindustriales y su potencial productivo de biogás, que se han recogido en las tablas 13 a 20 anteriores. La información se ha agrupado según el tipo de subproducto, su producción y su potencial productivo de biogás.

TABLA 21.- RESUMEN DE LA PRODUCCIÓN DE SUBPRODUCTOS AGROINDUSTRIALES Y SU POTENCIAL PRODUCTIVO DE BIOGAS

TIPOS DE SUBPRODUCTOS	Tm/año o m ³ /año	PRODUCTO % SOBRE TOTAL	PRODUCCIÓN BIOGÁS (m ³ /año)	BIOGAS % SOBRE TOTAL	PRODUCCIÓN UNITARIA DE BIOGÁS (m ³ /Tm o m ³)
Estiércoles y purines					
Estiércol y gallinaza (Tm)	28.248.845	35,82%	1.029.806.723	53,36%	36,46
Purines porcino (m ³)	45.960.512	58,27%	497.234.118	25,76%	10,82
SUBTOTAL	74.209.357	94,09%	1.527.040.842	79,12%	20,58
SANDACH					
Harinas.- CAT. 2 (Tm)	117.050	0,15%	54.896.450	2,84%	469,19
SUBTOTAL	117.050	0,15%	54.896.450	2,84%	469
RESIDUOS AGROINDUSTRIALES					
Vegetales (Tm)	125.000	0,16%	13.250.000	0,69%	106
Industrias agrícolas y ganaderas (Tm)	4.400.000	5,58%	321.013.000	16,63%	72,96
Glicerina (m ³)	20.000	0,03%	13.720.000	0,71%	686
SUBTOTAL	4.545.000	5,76%	347.983.000	18,03%	76,56
TOTAL	78.871.407	100,00%	1.929.920.292	100,00%	24,47

Fuente: MARM

En consecuencia de la Tabla 21 se desprende que el potencial de generación de biogás agroindustrial en España es de aproximadamente 1.930 millones de m³/año, para una producción total de subproductos de 78,87 millones de toneladas por año.

Los estiércoles y purines representan el 94,09 % de la producción total de subproductos agroindustriales y únicamente alcanzan el 79,12 % de la producción de biogás, existiendo por tanto un diferencial de 15 puntos porcentuales entre ambos parámetros. Ello es debido al escaso potencial de producción de biogás de los mismos, cuyo valor medio es de 20,58 m³ de biogás/Tm. Este reducido potencial productivo de biogás es más patente en el caso de los purines, que representando el 58,27 % de la producción total de subproductos agroindustriales, alcanzan únicamente el 25,76 % de la producción total de biogás y una producción unitaria media de 10,82 m³ de biogás/m³ de purín.

Por tanto los estiércoles y purines deberán ser considerados como subproductos fundamentales a la hora de efectuar un programa de producción energética de fuentes renovables, debido al volumen de los mismos y a sus excelentes características para ser metanizados, pero será imprescindible mezclar con otros subproductos de mayor potencial de producción de biogás (codigerir), para incrementar los ingresos por generación de biogás en las instalaciones.

El caso de las harinas SANDACH es totalmente contrario al de los estiércoles y purines, pues con tan solo 0,15 % de producción tiene una capacidad de generación de biogás de 2,84 % y un valor medio 469 m³ de biogás/Tm. Por tanto las harinas deben ser consideradas como excelentes subproductos para ser codigeridos cuando procedan de plantas de Categoría 2.

Actualmente la mayor parte de los SANDACH de Categoría 2 se procesan en instalaciones de Categoría 1 para obtener harinas y ello las invalida para ser utilizadas en plantas de biogás. Por tanto, una de las líneas futuras de actuación debería potenciar la construcción de plantas de Categoría 2 para de esta forma poder contar con un cosustrato de alta calidad para generar biogás.

Como puede observarse en la Tabla 20, entre los residuos agroindustriales existe una enorme variabilidad, tanto en producción como en potencial productivo de biogás. No obstante, de la Tabla 21 se desprende que de forma similar a las harinas SANDACH, con tan solo una producción de 5,76 % tiene una capacidad de generación de biogás del 18,03 %, con un valor medio 76,56 m³ de biogás/Tm de residuo agroindustrial.

Estos tipos de subproductos, que en general tienen un marcado carácter estacional, su producción están muy dispersos y localiza en ciertas áreas, tiene además elevados costes de manejo, por lo que su utilización como cosustrato se limite, en general, a instalaciones de biogás localizadas en áreas próximas de su punto de producción. Posiblemente podría ser transportado fuera de las áreas de producción las harinas y la glicerina por sus elevados ratios de generación de biogás de 469 m³ de biogás/Tm y 686 m³ de biogás/Tm respectivamente.

5.3. POTENCIAL ENERGETICO Y MEDIOAMBIENTAL DEL BIOGÁS AGROINDUSTRIAL EN ESPAÑA

De la Tabla 21 se desprende que en España la producción de subproductos agroindustriales es de 78.871.407 Tm/año y tienen un potencial productivo de biogás de 1.929.920.292 m³/año, que equivale a rendimiento unitario medio de 24,47 m³ de biogás por tonelada de subproducto.

Para evaluar el potencial energético y medioambiental en reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de la producción de biogás de subproductos agroindustriales, se considera que energéticamente dicho biogás tiene un valor medio de 6.000 Kcal/m³ y que utilizados como combustible en motores de cogeneración generan 2,8 Kwh/m³ de biogás y 2.400 Kcal/m³ de biogás en forma de agua caliente a 90°C.

5.3.1. Potencia instalada.

Para calcular la potencia instalada en cogeneración que consume la producción total de 1.929.920.292 m³ de biogás por año, se considera un periodo de trabajo de 7.500 horas por año y una producción de 2,8 Kwh/m³ de biogás. Con ello resulta que en España la potencia instalada total sería de 720 Mw,

considerando que todos los subproductos generados en España fueran sometidos al proceso de biodigestión para obtener biogás.

Estimando que un 30% de la producción de subproductos agroindustriales tiene los mejores condicionantes de tipo técnico, de manejo y económicos para ser utilizados en plantas de biogás, se puede concluir que en España, el cupo de potencia instalada para el biogás de digestión podría fijarse en 216 Mw en el nuevo PER 2012-2020.

5.3.2. Autoconsumo térmico de las instalaciones de codigestión.

Al efectuar el balance energético de las instalaciones de biogás de digestión debe tenerse en cuenta que el proceso de metanización se produce a temperaturas mesófila (37°C) o termófila (55°C) y por tanto el propio proceso, ineludiblemente, tiene un autoconsumo en energía térmica para el calentamiento de los sustratos a digerir.

Por tanto, partiendo de los datos de producción de subproductos agroindustriales de 78.871.407 Tm/año, así como de biogás de 1.929.920.292 m³/año, se obtiene un ratio medio de producción de 24,47 m³ de biogás por tonelada de subproducto. Teniendo en cuenta que la cogeneración genera 2.400 Kcal/m³ de biogás, se deduce que la tonelada media de subproducto agroindustrial produce 58.728 Kcal en forma de agua caliente a 90° C.

Por otra parte, para que tenga lugar el proceso de metanización a temperatura mesófila (37° C), deberá calentarse el subproducto agroindustrial desde una temperatura estimada media de 7° C hasta los referidos 37° C y al mismo tiempo deberán reponerse las perdidas de calor del sistema. Ello significa que para efectuar el salto térmico de 30° C se precisan 30.000 Kcal por tonelada de subproducto agroindustrial, a las que se deberán sumar las necesidades adicionales resultantes de la eficiencia de los intercambiadores de calor y las perdidas de calor del digester, que se pueden estimar en 10.000 Kcal/Tm.

En consecuencia el autoconsumo medio en energía térmica de la biodigestión de subproductos agroindustriales en las condiciones productivas españolas se sitúa en el entorno del 68% del calor efectivo generado.

Este condicionante de autoconsumo térmico de la producción de biogás de digestión deberá tenerse en cuenta a la hora de fijar los requerimientos sobre el Rendimiento Eléctrico Equivalente en la codigestión de subproductos agroindustriales.

5.3.3. Autoconsumo eléctrico de las instalaciones de codigestión.

Contrariamente a lo que sucede con la energía térmica, las necesidades en energía eléctrica del proceso de codigestión son muy reducidas y para las condiciones medias de producción de biogás de los subproductos agroindustriales españoles se puede estimar en el 5% de la producción. Ahora bien considerando que la producción de biogás en instalaciones de codigestión serán en gran medida de carácter centralizado y por tanto

generarán puntualmente grandes volúmenes de codigestos que deberán ser tratados para facilitar gestión posterior. Estos sistemas de tratamiento de codigestos tendrán unos requerimientos energéticos dependiendo del sistema aplicado y a título de ejemplo se pueden reseñar los siguientes:

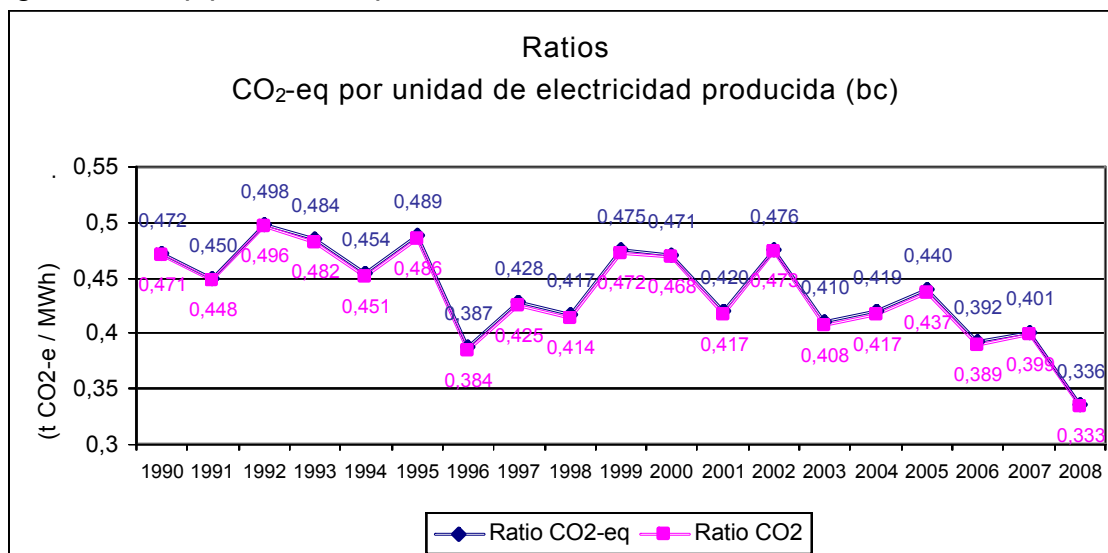
Codigestión anaeróbica + nitrificación-desnitrificación (NDN).- La codigestión produce de media 24,47 m³ de biogás por tonelada de subproducto con un rendimiento 2,8 Kwh/m³ de biogás y por tanto ello equivale a una producción de 68,52 Kwh por tonelada de subproducto. Considerando que el consumo del NDN es de 15 Kw/Tm, resulta un autoconsumo de electricidad del entorno del 22%, que sumado la 5% del proceso de digestión hace un total para este tipo de plantas del 27%.

Codigestión anaeróbica + “stripping” de NH₃.- El consumo eléctrico del stripping de NH₃+centrifuga es de 5 Kwh/Tm de subproductos. Para las mismas condiciones productivas de biogás reseñadas en el caso del NDN de 68,52 Kwh por tonelada de subproducto, resulta un autoconsumo de electricidad del entorno del 7%, que sumado la 5% del proceso de digestión hace un total para este tipo de plantas del 12%.

5.3.4. Reducción de emisiones en el biogás de digestión de subproductos agroindustriales.

La reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en la digestión de subproductos agroindustriales proceden de dos fuentes, una por la reducción de emisiones de metano de la digestión de purines y estiércoles (Capítulo: “Gestión de Estiércoles” del Inventario Nacional) y otra debida a las emisiones evitadas de la generación eléctrica de una fuente renovable de energía como el biogás.

Según los datos del Inventario Nacional de Emisiones, las emisiones del sector eléctrico desde el año 1990 se recogen en la grafica siguiente y para el último año 2008 los diferentes tipos de electricidad generados en España, emiten 336 kg de CO₂ eq. por Mw del pool eléctrico.



Fuente: MARM

De acuerdo con el Inventario Nacional de Emisiones, en las emisiones del Capítulo de “Gestión de Estiércoles” se diferencia entre las emisiones de metano de los purines que equivalen a 0,1623 t. de CO₂-Eq /m³ de purín y las emisiones oxido nitroso de los estiércoles que equivalen a 0,073 t. de CO₂-Eq /Tm de estiércol.

La reducción de emisiones por el biogás de digestión de subproductos agroindustriales se calculará únicamente para la estimación de potencia instalada de 216 Mw (Potencia instalada total de 720 Mw), calculada en el Punto 5.3.1 y se obtiene de una capacidad de tratamiento del 30% del total subproductos agroindustriales generados en España.

- Emisiones evitadas: 216 Mwx7.500 Mwh/año X 336 kg de CO₂ eq/Mwh= 544.320 t. de CO₂-Eq/año.

De acuerdo con la Tabla 21 sobre producciones de subproductos, el tratamiento del 30% de ellos supone la biodigestión de 13,79 millones de m³ de purines y 8,47 millones de toneladas de estiércoles. Por tanto las emisiones reducidas serán:

- Emisiones purines: 13,79 Mill. m³ x 0,1623 t. de CO₂-Eq /m³ de purín= 2.238.117 t. de CO₂-Eq/año.
- Emisiones Estiércol: 8,47 Mill. Tm x 0,073 t. de CO₂-Eq /Tm de estiércol = 618.310 t. de CO₂-Eq/año.

En total, la reducción de emisiones del tratamiento del 30% de subproductos agroindustriales representa una cifra de 3.400.747 t. de CO₂-Eq/año, que a un precio medio del derecho de emisión de 20 €/t de CO₂, suponen 68 millones de euros anuales que pueden ahorrarse en la compra de derechos de emisión para el cumplimiento del Protocolo de Kyoto.

5.3.5. Correlación entre producción eléctrica y reducción de emisiones en la digestión de subproductos agroindustriales.

En la Tabla 22 siguiente se recogen la correlación entre el potencial de producción energética de los diferentes subproductos agroindustriales y su incidencia en la reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero, diferenciando las emisiones evitadas por producción eléctrica de una fuente renovable como el biogás, de la reducción de emisiones de GEI que se producen la digerir anaeróbicamente los purines y estiércoles.

Para su calculo se considera que 1 m³ de biogás genera 2,8 Kwh, que por cada Kwh producido por fuentes renovables se evitan 0,336 Kg CO₂ eq. (Para nuestro pool de generación eléctrica) y que de acuerdo con el Inventario Nacional de Emisiones se emiten 0,1623 t. de CO₂-Eq /m³ de purín y 0,073 t. de CO₂-Eq /Tm de estiércol.

TABLA 22. CORRELACIÓN ENTRE ELCTRICIDAD Y EMISIONES DE GEI

	Producción		Emisiones de GEI (Kg CO2/m3 o Tm)		
	BIOOGAS (m3 /m3 o Tm)	ELECTRICIDAD (Kwh/m3 o Tm)	EVITADAS	GESTIÓN ESTIÉRCOLES	TOTAL EMISIONES
PURINES	10,82	30,30	10,18	162,30	172,48
ESTIÉRCOL Y GALLINAZA	36,46	102,09	34,30	73,00	107,30
SANDACH	201,69	564,73	189,75	0,00	189,75
RESIDUOS AGROINDUSTRIALES	76,56	214,37	72,03	0,00	72,03
HARINAS	469	1.313,20	441,24	0,00	441,24
GLICERINA	686	1.921	645	0,00	645

Fuente: MARM

De estos resultados se desprende que los purines son los subproductos que generan menos cantidad de biogás y por tanto menor producción de electricidad, pero sin embargo son los que reducirían más emisiones de GEI. En consecuencia si los purines y en menor proporción los estiércoles-gallinazas, son sometidos a un proceso de biodigestión anaeróbica, reducirían la factura de la compra de derechos de emisión para el cumplimiento del Protocolo de Kyoto y este ahorro podría ser utilizado complementariamente con la tarifa eléctrica para rentabilizar las instalaciones de biogás.

Aunque de las harinas SANDACH y la glicerina resulta muy eficiente en la producción de electricidad y por tanto en reducción de emisiones evitadas, es una situación teórica ya que debido a las características intrínsecas de estos subproductos, únicamente se pueden digerir mezclados en pequeñas proporciones con otros compuestos orgánicos. En general se considera que no debe sobrepasarse el 10% en el caso de las harinas cárnicas.

5.4. RENTABILIDAD DEL BIOGAS DE DIGESTIÓN EN ESPAÑA. HIPOTESIS DE VALORACION ECONOMICA

El desarrollo del biogás en España, al igual que ha ocurrido en algunos países europeos, va a estar ligado a la rentabilidad de las instalaciones, la cual esta íntimamente correlacionada con la producción energética, que a su vez depende de la generación de biogás de los subproductos agroindustriales disponibles en cada país.

Tendiendo en cuenta las específicas características sobre generación de subproductos del sector agroindustrial español, que se recoge en el apartado 5.2, se puede concluir que los estiércoles y purines deberán ser considerados como fundamentales a la hora de elaborar el sistema de producción del biogás de digestión, dado que representan el 94,09 % de la producción total, aunque

su potencial energético de 1.527.040.842 m³, equivale únicamente al 79,12 % de la producción total de biogás.

Puesto que la rentabilidad de las instalaciones de digestión dependen directamente del rendimiento productivo de biogás, será necesario que los estiércoles y purines se codigieran con el resto de subproductos agroindustriales que se generen en cada zona específica de ganadería intensiva, con lo que se reducirán los elevados costes de transporte que tienen los codigestos en general.

En consecuencia, tomando a los purines y estiércoles como elementos básicos del proceso de biodigestión, se realizará a continuación una evaluación económica de diferentes modelos de producción de biogás con subproductos agroindustriales. Para ello se mantendrá constante la capacidad de tratamiento de la instalación en 100.000 m³ de codigesto por año y se valorarán las siguientes proporciones de sustratos:

- MODELO 1.- 100% purín porcino. Tratamiento de 100.000 m³ de purín/año. Capacidad producción biogás media de 10,82 m³/m³ de purín.
- MODELO 2.- 62% purín porcino + 38 % estiércol-gallinaza. Cantidades de estiércoles y purines de acuerdo con proporción disponible en España para metanización (Tabla 21). Equivale al tratamiento de: 62.000 m³ de purín/año y 38.000 Tm. Estiércol-gallinaza/año. Capacidad producción biogás media de 20,17 m³/m³ o Tm de subproductos.
- MODELO 3.- 95% purín-estiércol-gallinaza + 5 % harinas SANDACH. Cantidades de estos subproductos de acuerdo con proporción disponible en España para metanización (Tabla 21). Equivale al tratamiento de: 58.900 m³ de purín/año, 36.100 Tm. Estiércol-gallinaza/año y 5.000 Tm de harinas/año. Capacidad producción biogás media de 42,99 m³/m³ o Tm de subproductos.
- MODELO 4.- 90% purín-estiércol-gallinaza + 10 % harinas. Cantidades de estos subproductos de acuerdo con proporción disponible en España para metanización (Tabla 21). Equivale al tratamiento de: 55.800 m³ de purín/año, 34.200 Tm. Estiércol-gallinaza/año y 10.000 Tm. de harinas/año. Capacidad producción biogás media de 65,40 m³/m³ o Tm de subproductos.
- MODELO 5.- 80% purín-estiércol-gallinaza + 20 % Residuos agroindustriales. Cantidades de estos subproductos de acuerdo con proporción disponible en España para metanización (Tabla 21). Equivale al tratamiento de: 49.600 m³ de purín/año, 30.400 Tm. Estiércol-

gallinaza/año y 20.000 Tm de residuos vegetales/año. Capacidad producción biogás media de 31,76 m³/m³ o Tm de subproductos.

- MODELO 6.- 70% purín-estiércol-gallinaza + 30 % Residuos agroindustriales. Cantidades de estos subproductos de acuerdo con proporción disponible en España para metanización (Tabla 21). Equivale al tratamiento de: 43.400 m³ de purín/año, 26.600 Tm. Estiércol-gallinaza/año y 30.000 Tm de residuos vegetales/año. Capacidad producción biogás media de 37,36 m³/m³ o Tm de subproductos.
- MODELO 7.- 90% purín-estiércol-gallinaza + 10 % glicerina. Cantidades de estos subproductos de acuerdo con proporción disponible en España para metanización (Tabla 21). Equivale al tratamiento de: 55.800 m³ de purín/año, 34.200 Tm. Estiércol-gallinaza/año y 10.000 Tm. de glicerina/año. Capacidad producción biogás media de 87,11 m³/m³ o Tm de subproductos.

Para la capacidad de tratamiento de 100.000 m³ por año de subproductos agroindustriales, con 7.500 horas de funcionamiento y de acuerdo con los ratios de producción de biogás de cada modelo, en la Tabla 23 se recoge la potencia instalada en cada uno de ellos que permita valorizar energéticamente el biogás generado y las reducciones de emisiones en toneladas de CO₂ eq.

TABLA 23. POTENCIA INSTALADA Y REDUCCIÓN DE EMISIONES EN PLANTAS DE 100.000m³/año PARA CADA MODELO

	Producción Biogás por año		Potencia Instalada Kw	Producción Energía por año		REDUCCIÓN EMISIONES TONELADAS CO2 eq	REDUCCIÓN CO2 POR Kw POTENCIA INSTALADA Tm CO2 eq/Kw
	m ³ /m ³ o Tm	TOTAL (m3)		Millones (Kwh)	Millones (Kcal)		
MODELO 1	10,82	1.082.000	404	3,03	2.597	17.248	42,70
MODELO 2	20,17	2.017.000	753	5,65	4.841	14.771	19,62
MODELO 3	42,99	4.299.000	1.605	12,04	10.318	14.023	8,74
MODELO 4	65,4	6.540.000	2.442	18,31	15.696	17.706	7,25
MODELO 5	31,76	3.176.000	1.186	8,89	7.622	13.258	11,18
MODELO 6	37,36	3.736.000	1.395	10,46	8.966	12.501	8,96
MODELO 7	87,11	8.711.000	3.252	24,39	20.906	19.744	6,07

Fuente: MARM

Al igual que el comentario efectuado sobre los resultados de la Tabla 22, en esta Tabla 23 se aprecia que para la misma capacidad de tratamiento de 100.000 m³/año de cosustratos la potencia instalada necesaria para el

consumo del biogás producido es más pequeña en los casos en donde predominan los purines seguidos de los estiércoles-gallinazas y sin embargo, fijándonos en la última columna, se puede observar que las reducciones de emisiones por unidad de potencia instalada es mayor en el caso del tratamiento de purines seguido del de de los estiércoles-gallinazas.

En consecuencia esta situación deberá tenerse en cuenta a la hora de efectuar el planteamiento económico del desarrollo del biogás de digestión de subproductos agroindustriales, pues los purines y en menor proporción los estiércoles-gallinazas, reducirían en mayor grado la factura de la compra de derechos de emisión para el cumplimiento del Protocolo de Kyoto. Por consiguiente, este ahorro podría ser utilizado complementariamente con la tarifa eléctrica para rentabilizar las instalaciones de biogás.

Teniendo en cuenta que durante el proceso de metanización no se reduce el contenido de nitrógeno en el digestato, se evaluarán dos alternativas para cada uno de los modelos propuestos anteriormente, una referida a plantas de 100.000 m³/año de capacidad que únicamente tienen el sistema de biodigestión y la otra para plantas con la misma capacidad de tratamiento pero en las que la biodigestión se complementa con sistemas de tratamiento del digestato.

Para el estudio económico se considera, que energéticamente el biogás tiene un valor medio de 6.000 Kcal/m³, que utilizado como combustible en motores de cogeneración generan 2,8 Kwh/m³ de biogás y 2.400 Kcal/m³ de biogás en forma de agua caliente a 90°C.

En la Tablas 24 se presenta el estudio sobre periodo de retorno de la inversión para los diferentes modelos en plantas que únicamente aplican la biodigestión y en la Tabla 25 aquellas plantas que complementan la biodigestión con tratamiento del digestato.

TABLA 24. ESTUDIO ECONÓMICO DE LOS DIFERENTES MODELOS DE BIODIGESTIÓN DE SUBPRODUCTOS AGROINDUSTRIALES

PARAMETROS		TIPOS DE MEZCLAS DE SUBPRODUCTOS AGROINDUSTRIALES						
		MODELO 1	MODELO 2	MODELO 3	MODELO 4	MODELO 5	MODELO 6	MODELO 7
Capacidad planta biodigestión	m ³	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
Purín	m ³	100.000	62.000	58.900	55.800	49.600	43.400	55.800
Estiércol-Gallinaza	Tm	0	38.000	36.100	34.200	30.400	26.600	34.200
Residuos agroindustriales	Tm	0	0	0	0	20.000	30.000	0
Harinas	Tm	0	0	5.000	10.000	0	0	0
Glicerina	m ³	0	0	0	0	0	0	10.000
HORAS DE FUNCIONAMIENTO	h/año	7.500	7.500	7.500	7.500	7.500	7.500	7.500
POTENCIA ELÉCTRICA	kW	404	753	1.605	2.442	1.186	1.395	3.252
Inversión biodigestión.	€	2.400.000	2.400.000	2.400.000	2.400.000	2.400.000	2.400.000	2.400.000
Inversión cogenerador+ conexión.	€	300.000	750.000	1.650.000	2.000.000	1.100.000	1.350.000	2.800.000
TOTAL INVERSIÓN	€	2.700.000	3.150.000	4.050.000	4.400.000	3.500.000	3.750.000	5.200.000
Gastos mant. y operac. (2% s/inv.)+ 2% M.Obra	€/año	96.000	96.000	96.000	96.000	96.000	96.000	96.000
Gastos Generador.Mant. y operac.(1,75c€/Kwh)	€/año	53.025	98.831	210.656	320.513	155.663	183.094	426.825
Coste codigesto (5€/Tm)	€/año	0	0	25.000	50.000	100.000	150.000	50.000
Intereses 7% sobre 1/2 inver. Amortizar 10 años	€/año	94.500	110.250	141.750	154.000	122.500	131.250	182.000
TOTAL GASTOS	€/año	243.525	305.081	473.406	620.513	474.163	560.344	754.825
INGRESOS VENTA ELECT. 90% (*)	€/año	376.326	520.474	1.109.376	1.687.910	819.763	964.224	2.247.782
TOTAL BENEFICIO	€/año	132.801	215.392	635.970	1.067.398	345.601	403.880	1.492.957
PERIODO RETORNO SIMPLE	AÑOS	20,3	14,6	6,4	4,1	10,1	9,3	3,5

Fuente: MARM. (*) Tarifas (p): p<0,5 Mw: 13,80c€/Kwh y p>0,5Mw: 10,24c€/Kwh

TABLA 25. ESTUDIO ECONÓMICO DE LOS DIFERENTES MODELOS DE BIODIGESTIÓN DE SUBPRODUCTOS AGROINDUSTRIALES Y TRATAMIENTO DE DIGESTATO

PARAMETROS		TIPOS DE MEZCLAS DE SUBPRODUCTOS AGROINDUSTRIALES						
		MODELO 1	MODELO 2	MODELO 3	MODELO 4	MODELO 5	MODELO 6	MODELO 7
Capacidad planta biodigestión	m ³	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
Purín	m ³	100.000	62.000	58.900	55.800	49.600	43.400	55.800
Estiércol-Gallinaza	Tm	0	38.000	36.100	34.200	30.400	26.600	34.200
Residuos agroindustriales	Tm	0	0	0	0	20.000	30.000	0
Harinas	Tm	0	0	5.000	10.000	0	0	0
Glicerina	m ³	0	0	0	0	0	0	10.000
HORAS DE FUNCIONAMIENTO	h/año	7.500	7.500	7.500	7.500	7.500	7.500	7.500
POTENCIA ELÉCTRICA	kW	404	753	1.605	2.442	1.186	1.395	3.252
Inversión biodigestión.	€	2.400.000	2.400.000	2.400.000	2.400.000	2.400.000	2.400.000	2.400.000
Inversión cogenerador+ conexión.	€	300.000	750.000	1.650.000	2.000.000	1.100.000	1.350.000	2.800.000
Inversión tratamiento codigesto	€	1.050.000	1.150.000	2.200.000	3.150.000	1.900.000	2.100.000	3.500.000
TOTAL INVERSIÓN	€	3.750.000	4.300.000	6.250.000	7.550.000	5.400.000	5.850.000	8.700.000
Gastos mant. y operac. (2% s/inv.)+ 2% M.Obra	€/año	96.000	96.000	96.000	96.000	96.000	96.000	96.000
Gastos Generador.Mant. y operac.(1,75c€/Kwh)	€/año	53.025	98.831	210.656	320.513	155.663	183.094	426.825
Coste codigesto (5€/Tm)	€/año	0	0	25.000	50.000	100.000	150.000	50.000
Intereses 7% sobre 1/2 inver. Amortizar 10 años	€/año	131.250	150.500	218.750	264.250	189.000	204.750	304.500
TOTAL GASTOS	€/año	280.275	345.331	550.406	730.763	540.663	633.844	877.325
INGRESOS VENTA ELECT. 90% (*)	€/año	376.326	520.474	1.109.376	1.687.910	819.763	964.224	2.247.782
TOTAL BENEFICIO	€/año	96.051	175.142	558.970	957.148	279.101	330.380	1.370.457
PERIODO RETORNO SIMPLE	AÑOS	39,0	24,6	11,2	7,9	19,3	17,7	6,3

Fuente: MARM. (*)Tarifas (p): p<0,5 Mw: 13,80c€/Kwh y p>0,5Mw: 10,24c€/Kwh

Analizando estas tablas y fijando un periodo de retorno simple de la inversión que no supere los 6 años, se comprueba que las plantas que únicamente tienen sistemas de biodigestión (Tabla 24), superan claramente ese periodo de tiempo, los Modelos 1 y 2 que se basan en la digestión de purines y purines con estiércoles-gallinaza respectivamente, y en menor medida los Modelos 5 y 6 que codigieren subproductos agroindustriales en una proporción del 20% y 30% respectivamente. El Modelos 3 que se basa en la digestión de purines y estiércoles-gallinaza con el 5% de harinas esta en el umbral de la rentabilidad.

Así mismo, para las plantas de biodigestión complementadas con sistemas de tratamiento de digestato (Tabla 25), superan los 6 años del periodo de retorno

simple de la inversión, los Modelos 1, y 2 al igual que en el caso anterior y también lo superan los Modelos 5 y 6 que respectivamente tienen un 20% y 30% de codigestatos a base residuos agroindustriales, así como el Modelo 3 que codigiere solamente un 5% de harinas. Los Modelos 4 y 7 con el 10% de harinas y el 10 % de glicerina respectivamente, están en el umbral de la rentabilidad.

De los datos reseñados anteriormente y teniendo además en cuenta que los estiércoles y purines son los subproductos básicos de las plantas de biogás de digestión, se puede concluir que las actuales tarifas de esta fuente de energía renovable del Real Decreto 661/2007, resultan claramente insuficientes para rentabilizar dichas instalaciones.

Cada modelo se ha efectuado teniendo en cuenta unas proporciones de mezcla predeterminadas de subproductos agroalimentarios y en los Cuadros 24 y 25 se recogen los ratios equivalentes de potencia que van desde los 404 Kw a los 3.252 Kw para los diferentes modelos, por lo que los resultados de rentabilidad recogidos en los referidos cuadros se pueden extrapolar también para calcular la rentabilidad de las instalaciones en función de las potencias de las instalaciones de biogás. Ello facilitará el cálculo de rentabilidad de otros tipos de mezcla de subproductos agroindustriales cuyas potencia instalada coincida con la de los modelos recogidos en los Cuadros 24 y 25.

Puesto que el estudio de rentabilidad de los diferentes modelos de digestión de subproductos agroindustriales se ha efectuado teniendo en cuenta las actuales condiciones de financiación de la tarifa eléctrica, a continuación se presenta en las Tablas 26 y 27 el cálculo de los ingresos complementarios a dicha tarifa, que deberán asignarse a las instalaciones de biogás para que no se supere el periodo de retorno simple de 6 años en los modelos reseñados anteriormente, el cual se ha considerado como periodo límite que rentabiliza las instalaciones de biogás.

También se efectúa una evaluación económica de lo que representan dichos ingresos complementarios a la tarifa eléctrica respecto a la tonelada de CO₂ reducida en los diferentes modelos. De esta forma se determinará el precio de tonelada de CO₂ reducida y se podrá comparar con su valor en el mercado de derechos de emisión, cuyo precio se puede estimar en el entorno del 20 €/tonelada de CO₂ eq.

TABLA 26. INGRESOS COMPLEMENTARIOS PARA PERIODOS DE RETORNO INFERIOR A 6 AÑOS EN LOS MODELOS DE BIODIGESTIÓN DE SUBPRODUCTOS AGROINDUSTRIALES

PARAMETROS		TIPOS DE MEZCLAS DE SUBPRODUCTOS AGROINDUSTRIALES						
		MODELO 1	MODELO 2	MODELO 3	MODELO 4	MODELO 5	MODELO 6	MODELO 7
Capacidad planta biodigestión	m ³	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
Purín	m ³	100.000	62.000	58.900	55.800	49.600	43.400	55.800
Estiércol-Gallinaza	Tm	0	38.000	36.100	34.200	30.400	26.600	34.200
Residuos agroindustriales	Tm	0	0	0	0	20.000	30.000	0
Harinas	Tm	0	0	5.000	10.000	0	0	0
Glicerina	m ³	0	0	0	0	0	0	10.000
HORAS DE FUNCIONAMIENTO	h/año	7.500	7.500	7.500	7.500	7.500	7.500	7.500
POTENCIA ELÉCTRICA	kW	404	753	1.605	2.442	1.186	1.395	3.252
TOTAL INVERSIÓN	€	2.700.000	3.150.000	4.050.000	4.400.000	3.500.000	3.750.000	5.200.000
TOTAL GASTOS	€/año	243.525	305.081	473.406	620.513	474.163	560.344	754.825
INGRESOS VENTA ELECT. 90% (*)	€/año	376.326	520.474	1.109.376	1.687.910	819.763	964.224	2.247.782
INGRESOS COMPLEMENTARIOS PARA RENTABILIZAR EXPLOTACION	€/año	317.000	310.000	39.000		238.000	221.000	
% INGRESOS COMPLEMENTARIOS SOBRE INVERSIÓN	%	12	10	1		7	6	
TOTAL INGRESOS	€/año	693.326	830.474	1.148.376	1.687.910	1.057.763	1.185.224	2.247.782
TOTAL BENEFICIO	€/año	449.801	525.393	674.970	1.067.397	583.600	624.880	1.492.957
PERIODO RETORNO SIMPLE	AÑOS	6,0	6,0	6,0	4,1	6,0	6,0	3,5
INCREMENTO DE LA TARIFA ACTUAL(**)	c€/Kwh	11,62	6,10	0,36		2,97	2,35	
TOTAL TARIFA	c€/Kwh	25,42	16,34	10,60	10,24	13,21	12,59	10,24
PRECIO Tm CO ₂ RESPECTO INGRESOS COMPLEMENTARIOS PARA RENTABILIZAR (***)	€/t. CO ₂	18,38	20,99	2,78		17,95	17,68	

Fuente: MARM.

(*) Tarifas (p): p<0,5 Mw: 13,80c€/Kwh y p>0,5Mw: 10,24c€/Kwh

(**) Aunque esta expresado en c€/kw, su financiación puede ser con cargo a la tarifa, tal y como aquí se expresa, o a otros conceptos como la reducción de emisiones

(***) Cálculo mediante datos reducción emisiones de los modelos Tabla 23.

TABLA 27. INGRESOS COMPLEMENTARIOS PARA PERIODOS DE RETORNO INFERIOR A 6 AÑOS EN LOS MODELOS DE BIODIGESTIÓN DE SUBPRODUCTOS AGROINDUSTRIALES Y TRATAMIENTO DE DIGESTATO

PARAMETROS		TIPOS DE MEZCLAS DE SUBPRODUCTOS AGROINDUSTRIALES						
		MODELO 1	MODELO 2	MODELO 3	MODELO 4	MODELO 5	MODELO 6	MODELO 7
Capacidad planta biodigestión	m3	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
Purín	m3	100.000	62.000	58.900	55.800	49.600	43.400	55.800
Estiércol-Gallinaza	Tm	0	38.000	36.100	34.200	30.400	26.600	34.200
Residuos agroindustriales	Tm	0	0	0	0	20.000	30.000	0
Harinas	Tm	0	0	5.000	10.000	0	0	0
Glicerina	m3	0	0	0	0	0	0	10.000
HORAS DE FUNCIONAMIENTO	h/año	7.500	7.500	7.500	7.500	7.500	7.500	7.500
POTENCIA ELÉCTRICA	kW	404	753	1.605	2.442	1.186	1.395	3.252
TOTAL INVERSIÓN	€	3.750.000	4.300.000	6.250.000	7.550.000	5.400.000	5.850.000	8.700.000
TOTAL GASTOS	€/año	280.275	345.331	550.406	730.763	540.663	633.844	877.325
INGRESOS VENTA ELECT. 90% (*)	€/año	376.326	520.474	1.109.376	1.687.910	819.763	964.224	2.247.782
INGRESOS COMPLEMENTARIOS PARA RENTABILIZAR EXPLOTACION	€/año	529.000	542.000	483.000	302.000	621.000	644.000	79.000
% INGRESOS COMPLEMENTARIOS SOBRE INVERSIÓN	%	14	13	8	4	12	11	1
TOTAL INGRESOS	€/año	905.326	1.062.474	1.592.376	1.989.910	1.440.763	1.608.224	2.326.782
TOTAL BENEFICIO	€/año	625.051	717.143	1.041.970	1.259.147	900.100	974.380	1.449.457
PERIODO RETORNO SIMPLE	AÑOS	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
INCREMENTO DE LA TARIFA ACTUAL(**)	c€/Kwh	19,40	10,66	4,46	1,83	7,76	6,84	0,36
TOTAL TARIFA	c€/Kwh	33,20	20,90	14,70	12,07	18,00	17,08	10,60
PRECIO Tm CO ₂ RESPECTO INGRESOS COMPLEMENTARIOS PARA RENTABILIZAR (***)	€/t. CO ₂	30,67	36,69	34,44	17,06	46,84	51,52	4,00

Fuente: MARM. (*) Tarifas (p): p<0,5 Mw: 13,80c€/Kwh y p>0,5Mw: 10,24c€/Kwh

(**) Aunque esta expresado en c€/kw, su financiación puede ser con cargo a la tarifa, tal y como aquí se expresa, o a otros conceptos como la reducción de emisiones

(**) Cálculo mediante datos reducción emisiones de los modelos Tabla 23

En estas Tablas 26 y 27 se recoge resumidamente la información económica de la situación actual del biogás de digestión y así mismo los cálculos

realizados servirán de base para las propuestas financieras futuras para el desarrollo del biogás de digestión en el marco del nuevo PANER 2012-2020. Del análisis de estos resultados se pueden extraer las siguientes conclusiones:

1. En las condiciones actuales de financiación del biogás de digestión en base a la tarifa eléctrica (Asumiendo que el periodo de retorno simple no supera los 6 años), únicamente se rentabilizan las instalaciones con proceso de digestión (Tabla 26), en los casos en donde los estiércoles y purines se codigieren con harinas en proporciones del 5% y 10% o con glicerina en una proporción del 10%. Cuando el proceso de biodigestión se complementa con procesos para el tratamiento del digestato, con lo que se incrementa la inversión, únicamente resultan rentables las instalaciones en donde los estiércoles y purines se codigieren con glicerina en una proporción del 10% (Tabla 27).

Por tanto, estos datos parecen demostrar que el desarrollo del biogás en el PER 2005-2010 se ha visto limitado especialmente por la falta de rentabilidad de este tipo de instalaciones para las condiciones específicas de suministro de codigestatos en España.

2. En estas Tablas también se han calculado los ingresos económicos complementarios a la actual tarifa, para que el periodo de retorno simple de la inversión no supere los 6 años y de esta forma poder rentabilizar las instalaciones, tanto las que únicamente tienen digestor (Tablas 26) como las que complementan la digestión con procesos de tratamiento del digestato (Tablas 27).

Estos ingresos complementarios se recogen en dichas Tablas en forma de una partida económica y su equivalente repercutido como incremento de la tarifa actual de biogás. Aunque los ingresos complementarios también se exprese como incremento de la tarifa actual (c€/kwh), ello no quiere decir que su financiación tenga que ser asumida por la misma, sino que se podrán estudiar otras fuentes de financiación complementarias a la tarifa, como puede ser la derivada del ahorro económico de la compra de derechos de emisión debida a la reducción de emisiones de CO₂.

Estos ingresos complementarios expresados en incremento de tarifa son mayores en los casos de la codigestión complementada con sistemas de tratamiento de digestato y especialmente para la digestión de purines (Modelo 1) y purín más estiércol-gallinaza (Modelo 2), que de acuerdo con el cálculo de la Tabla 27 tienen un incremento de prima de 19,40 c€/Kwh (sobre 13,80 c€/Kwh) y 10,21 c€/Kwh (sobre 10,24 c€/Kwh). Aunque estos modelos son los que económicamente son más desfavorable, tienen la ventaja que son los que tienen un mayor potencial de reducción de emisiones, por lo que presentan un mayor beneficio medioambiental.

3. Por otra parte, en las Tablas 26 y 27 se ha determinado el porcentaje que representan los ingresos complementarios respecto a la inversión

total de los diferentes tipos de instalaciones y se puede comprobar que para el caso de las plantas que únicamente tienen digestión (Tabla 26), las posibles ayudas que se puedan conceder para complementar las tarifas, oscilarían entre el 12% y el 1% de la inversión total (Modelos 1, 2, 3, 5 y 6). Estos porcentajes son superiores en el caso las plantas de digestión complementadas con tratamiento de digestato (Tabla 27) en donde las posibles ayudas se sitúan entre el 14 % y el 1% de la inversión total en función de los diferentes modelos.

4. Así mismo, otro parámetro a tener en cuenta a la hora de justificar la financiación de los ingresos complementarios de las plantas de biogás, es la evaluación del precio de la tonelada de CO₂ reducida respecto de dichos ingresos complementarios y que se recogen en la última fila de las Tablas 26 y 27.

En ellas se puede observar que para el caso de las plantas que únicamente tienen digestión (Tabla 26), el precio de la tonelada de CO₂ reducida oscila entre 20,99 €/t. CO₂ y 2,78€/t. CO₂, que esta prácticamente por debajo del precio estimado del mercado de derechos de emisión que se sitúa en el entorno de los 20 €/t.CO₂. En consecuencia, las instalaciones de biogás cuyas mezclas de cosustratos (Modelos 1, 2, 3, 5 y 6), no pueden ser rentabilizadas únicamente con la actual prima eléctrica, podrían ser financiadas con cargo a la reducción de emisiones, a unos costes inferiores a lo que supondría comprar los derechos de emisión.

En el caso de las plantas de digestión complementadas con tratamiento de digestato (Tabla 27), el precio de la tonelada de CO₂ reducida esta por encima del precio de 20 €/t.CO₂ del mercado de derechos de emisión, para los casos de los purines 30,67 €/t. CO₂ (Modelos 1), purines mas estiércoles-gallinaza 36,69 €/t. CO₂ (Modelos 2), y sus mezclas con el 10% de harinas, el 20% y el 30% de residuos agroindustriales que tienen un precio de 34,44 €/t. CO₂ (Modelos 3), de 46,84 €/t. CO₂ (Modelos 5) y 51,52 €/t. CO₂ (Modelos 6) respectivamente. En consecuencia, como el precio de la tonelada de CO₂ de estos modelos es superior a los 20 €/t CO₂ del mercado de derechos de emisión, habría que buscar justificantes financieros complementarios a las reducciones de emisiones y que podrían estar relacionadas con los tratamientos del digestato para facilitar su gestión.

Como complemento a este estudio económico, también hay que tener en cuenta la disponibilidad de cosustratos a mezclar con los estiércoles y purines que como hemos reflejado anteriormente deben constituir la base de las instalaciones de biogás de digestión de subproductos agroindustriales.

Para cumplir con el objetivo de alcanzar una potencia instalada de 216 Mw en el nuevo PER 2011-2020, se consideró que deberían tratarse un 30% de subproductos agroindustriales y ello significa que para el caso de los estiércoles y purines deberán digerirse 22,26 millones de Tm por año.

Puesto que la digestión de purines y estiércol-gallinaza, de acuerdo con el cálculo de la Tabla 27 tienen un incremento de prima de 19,40 c€/Kwh (sobre 13,80 c€/Kwh) y 10,66 c€/Kwh (sobre 10,24 c€/Kwh), se podría pensar que siempre deberían codigerirse con otros subproductos de mayor potencial productivo de biogás.

En este sentido nos podríamos fijar en el Modelo 3, que al incorporar un 5% de harinas rentabiliza la instalación con un ligero incremento de 4,46 c€/Kwh (sobre 10,24 c€/Kwh). No obstante, para tratar los 22,26 millones de Tm de estiércoles y purines, se necesitarían anualmente 1,11 millones de Tm de harina, cuando la producción total española es de 117.050 Tm, y ello si consideramos que el proceso para su fabricación se efectúa en plantas SANDACH de Categoría 2.

Otra alternativa que se puede considerar es la de utilizar cosustratos de residuos vegetales y dentro de estos los de mayor capacidad de producción de biogás como la melaza de azucarera, la pulpa de remolacha o los residuos de frutas y hortalizas. En la Tabla 20 se reseñan sus producciones, que aunque superiores a las harinas, tienen el inconveniente de que su producción está muy localizada en ciertas áreas y por tanto tienen una componente de coste de transporte que los hace inviable para ser usado en instalaciones que estén alejadas de su punto de producción.

De estos datos se desprende que si se quieren alcanzar una potencia instalada de 216 Mw en el nuevo PER 2011-2020, se hace imprescindible la producción de biogás de digestión en la que predominen los estiércoles-gallinaza y purines, para lo cual se deberá buscar financiación complementaria a las actuales tarifas, para rentabilizar las instalaciones de producción de biogás a partir de dichos subproductos. Estas nuevas tarifas deberán situarse entre unos ratios de 12,07 c€/Kwh y 33,20 c€/Kwh, esta última para instalaciones de biogás con tratamiento complementario del digestato, que únicamente traten purín, y para potencias instaladas de menos de 0,5 Mw.

Conviene destacar, que las instalaciones de biodigestión de subproductos agroindustriales generan en general un digestato rico en nitrógeno, por ello para facilitar su gestión y la viabilidad funcional de las instalaciones, en la mayoría de los casos, se deberá complementar el digestor con sistemas de tratamiento del digestato que faciliten su gestión. En consecuencia los parámetros económicos que deben utilizarse con carácter general son los recogidos en la Tabla 27.

Con esta información de rentabilidad de las instalaciones de biogás a partir de diferentes mezclas de subproductos agroindustriales, así como con los datos de disponibilidad de subproductos, se puede efectuar un nuevo sistema de primas que partiendo de los niveles de las actuales tarifas eléctrica (13,80 c€/Kwh para potencias menores de 0,5 Mw y de 10,24 c€/Kw para mayores de 0,5 Mw), se incremente en base a unos bonus por el uso de los purines o estiércol-gallinaza en la codigestión, de forma que permita rentabilizar las instalaciones de biogás.

Si se toma como referencia media el Modelo 2, que resulta rentable con la prima de 20,90 c€/Kwh, (incremento de 10,66 c€/Kwh sobre la actual tarifa de 10,24 c€/Kwh) y se asume la estimación de potencia instalada de 216 Mw para el biogás de digestión, reseñado en el Apartado 5.3.3, con 7.500 horas de funcionamiento por año, resulta un coste anual total de la tarifa eléctrica de 340 millones de euros al final del periodo del nuevo PER 2011-2020. Si a esta cifra se deducen los 68 Millones de euros anuales de ahorro por la compra de derechos de emisión calculados en el Apartado punto 5.3.4, resultan unas previsiones financieras anuales de 272 millones de euros para la tarifa eléctrica.

5.5. POSIBLES ADAPTACIONES DEL SISTEMA ALEMÁN A LA PRODUCCIÓN ESPAÑOLA DE BIOGÁS

El éxito del modelo alemán de producción de biogás agroindustrial invita a reflexionar sobre aquellos aspectos que lo diferencian del español y cuya adaptación a las particularidades de nuestro sistema productivo podría ser interesante investigar.

En primer lugar, el sistema de tarifas alemán tiene más tramos que el español (ver figura 14) y se basa en tarifas acumulativas. De esta forma, se puede apoyar a las plantas de pequeño y mediano tamaño, a la vez que se consigue que un aumento de potencia no suponga una pérdida de la rentabilidad, como puede suceder en el caso de España.

Además, este sistema de tarifas se complementa con la existencia de unas bonificaciones dirigidas a objetivos particulares muy concretos, tales como la mejora de la calidad del aire, la utilización de determinados sustratos, el empleo de mejoras tecnológicas, etc. En el caso de España se podrían considerar objetivos medioambientales (por ejemplo, reducir la compra de derechos de emisión de GEI para cumplir con los objetivos de Kyoto, o la utilización de sustratos de menor rendimiento en el proceso como los purines, tratamientos de valorización del digestato para su posterior uso como estiércol, mayor purificación del biogás para inyección en la red de gas natural, etc.).

Otro aspecto importante del modelo alemán y que sería muy interesante adaptar a la producción en España, es la diversificación de los usos del biogás que se obtiene, sobre todo a través de la inyección en la red de gas natural.

6. LIMITACIONES ECONOMICAS, TECNICAS Y ADMINISTRATIVAS PARA EL DESARROLLO DEL BIOGÁS EN ESPAÑA

Desarrollo del biogás como energía renovable.

En el Plan de Energías Renovables (PER) 2005-2010 se justifica la producción de biogás como una solución medioambiental y de tratamiento de residuos. No obstante, en los países de nuestro entorno, se considera el biogás en general y el del sector agrario en particular como una energía renovable, que además tiene una componente medioambiental de reducción de emisiones evitadas de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en el sector eléctrico.

Régimen de Tarifas

La principal limitación para el desarrollo del biogás de digestión en España ha sido la escasa remuneración de la tarifa eléctrica, que como se ha reseñado en le apartado 5.4 de este documento, esta muy por debajo de los niveles de rentabilidad de las instalaciones que tratan subproductos agroindustriales.

A diferencia del biogás de vertederos, las instalaciones de digestión que valorizan energéticamente subproductos agroindustriales tienen un reducido potencial de producción de biogás y por consiguiente las potencias instaladas, en la mayoría de los casos, no sobrepasa 1 Mw/h.

Teniendo en cuenta que en la actual normativa (Real Decreto 661/2007) solamente existen dos tramos de tarifa para potencias instaladas inferiores a 1 Mw/h, las instalaciones menores de los 500 kw/h y las que sobrepasan la potencia instalada de 500 kw/h, se ven fuertemente penalizadas en sus ingresos, no resultando viable la construcción de las mismas.

Por otra parte para facilitar a los inversores y promotores el acceso a los créditos a la inversión, deberá garantizarse el mantenimiento de la tarifas durante el tiempo medio de vida de estas instalaciones.

Requisitos para la calificación como cogeneración

Otro aspecto de la actual normativa que ha incidido negativamente en el desarrollo del biogás de digestores, esta relacionado con el requerimiento para calificarlo como cogeneración, ya que el Rendimiento Eléctrico Equivalente que se exige es muy elevado si se tiene en cuenta que hay que deducir el autoconsumo térmico, que obligatoriamente hay que destinar al mantenimiento del proceso de metanización en las plantas. Como se ha calculado en le apartado 5.3.2 de este documento, el autoconsumo medio en energía térmica de la biodigestión de subproductos agroindustriales, en las condiciones productivas españolas, se sitúa en el entorno del 65% del calor efectivo generado.

Cupos de biogás de digestores.

Actualmente en el PER 2005-2010 existe un único cupo para el biogás que engloba tanto el generado en los vertederos de RSU como el de los digestores. Teniendo en cuenta entre otros factores el diferente dimensionamiento de las instalaciones de vertederos y las de digestión, así como la diferencias tecnológicas entre ambos sistemas de producción de biogás, se hace imprescindible asignar cupos diferentes para cada subgrupo específico de sistema de producción de biogás. Ello permitira, si las condiciones económicas son las adecuadas, que el biogás de digestión cumpla con los objetivos que se le asignen.

Conexión eléctrica

La conexión a las redes para la evacuación de la energía eléctrica producida por el biogás debe efectuarse mediante una distribución de cargas que hagan viable las instalaciones de digestión, por ello es necesario el desarrollo de la

Disposición adicional decimotercera del Real Decreto Ley 661/07, en donde se prevé el reparto de costes y gastos entre los operadores de las redes y los productores, en este caso los de biogás.

Deberá homogeneizarse y simplificarse en lo posible la tramitación de las autorizaciones de las plantas de biogás, haciendo más fácil la aplicación de las diferentes normas aplicables por los distintos Departamentos ministeriales y Consejerías de las CCAA implicadas en la autorización de las mismas.

Así mismo, las exigencias establecidas en el Real Decreto 6/2009, sobre el registro de preinscripción resultan especialmente limitante para el desarrollo del biogás de digestión, por las garantías económicas que se exigen a los promotores, especialmente para los casos de las instalaciones de pequeño tamaño del sector agroindustrial español.

Cultivos energéticos

Aunque en la mayoría de los países europeos el desarrollo del biogás se ha efectuado en base a la utilización de los cultivos energéticos como co-sustrato, en España esta posibilidad se ve muy limitada por nuestras condiciones agroclimáticas.

Regulación SANDACH

Teniendo en cuenta el bajo rendimiento energético de los estiércoles y purines, así como las limitaciones existentes en España sobre la producción de cultivos energéticos, los SANDACH podrían utilizarse como cosustratos alternativos por su elevado potencial energético, especialmente las harinas carnicas de Categoría 2. Teniendo en cuenta que el manejo de los SANDACH de Categoría 3 presentan en muchos casos dificultades de manejo y por tanto dificultades para ser procesados en plantas de metanización, una de las alternativas para el desarrollo del biogás en España estaría ligado al fomento de instalaciones de Categoría 2 para la producción de harinas, ya que actualmente la mayor parte de las harinas disponibles son de Categoría 1 que no pueden utilizarse en plantas de biogás.

No obstante, dentro de las previsiones sobre el uso futuro de los SANDACH en plantas de biogás, deberá tenerse en cuenta los posibles cambios en la normativa para utilización de los mismos en alimentación animal que actualmente esta restringido a la alimentación de peces y animales de compañía.

Otro aspecto que ha incidido negativamente en el uso de SANDACH en la producción de biogás han sido los condicionantes de la normativa comunitaria en relación con el proceso de digestión y la valorización agrícola del digestato, que en parte se están modificando en la nueva normativa.

Evaluación económica de la reducción de emisiones

Un aspecto clave a la hora de efectuar un planteamiento económico global que no se ha evaluado adecuadamente es la valoración económica de la reducción de emisiones por el tratamiento de purines y co-sustratos. Esta reducción de

emisiones debe computarse en una doble dirección, para el caso de los estiércoles, y especialmente los purines, su digestión reduce las emisiones de metano que actualmente se computan en el Inventario de GEI y al mismo tiempo la producción energética del biogás de codigestión deberá evaluarse como emisiones evitadas al sustituir otras fuentes de energía.

Requisitos legales y autorizaciones.

Teniendo en cuenta las limitaciones en las generación de subproductos agroalimentarios para la producción de biogás, resulta improbable que la potencia de este subgrupo supere los 210Mw de potencia instalada en el periodo 2011-2020 y por tanto es aconsejable reducir las exigencias del Real Decreto ley 6/2009 en lo referente al registro de preasignación, especialmente para este tipo de plantas con potencia inferior a 1Mw en la mayoría de los casos.

Para facilitar la instalación de plantas centralizadas en zona de alta concentración de porcino, se estudiarán desde el punto de vista sanitario las restricciones de distancia del actual Real Decreto 324/2000 sobre normas básicas de ordenación de explotaciones porcinas.

7. LINEAS DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN EN BIOGAS.

Para la mejora del rendimiento del proceso de biometanización las líneas de I+D+i deben orientarse preferentemente a:

- Mejorar el diseño de los digestores para maximizar la concentración de flora microbiana en su interior reduciendo los periodos de retención hidráulica (PRH) y por tanto los costes de inversión.
- Estudios sobre optimización de los parámetros que regulan la biodigestión en codigestos con elevadas concentraciones de inhibidores.
- Mejora de sistemas en los digestores o procesos que permitan eliminar o reducir el sulfhídrico en el biogás.
- Evaluación de procesos de hidrólisis aplicables en diferentes cosustratos que permitan incrementar la producción posterior de biogás, en condiciones económicamente asumibles.
- Optimización y mejora de los procesos de tratamiento de digestos con alta concentración de nitrógeno.
- Mejora y desarrollo de digestores de bajo coste para tratamiento de subproductos con alta dilución.
- Desarrollo de sistemas para recuperación de calor y CO₂ en los sistemas de cogeneración con biogás.
- Búsqueda de nuevos cosustratos para la codigestión anaerobia.

- Posible aprovechamiento del biogás como gas natural (biometano).

8. CONCLUSIONES

1. En el Plan de Energías Renovables (PER) 2005-2010 se justifica la producción de biogás como una solución medioambiental y de tratamiento de residuos. No obstante, como se contempla en los países de nuestro entorno, en el nuevo PER 2011-2020 se debe considerar al biogás en general y el del sector agrario en particular como una energía renovable, que además tiene una componente mediambiental de reducción de emisiones evitadas de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en el sector eléctrico y en el caso de los purines también permite reducir el metano del capítulo de “Gestión de estiércoles” del Inventario Nacional de Emisiones. Ello facilitará el cumplimiento de los compromisos de España en relación con el Protocolo de Kyoto. Además permite reducir los malos olores.
2. La producción total de subproductos agroindustriales susceptibles de ser utilizados en la producción de biogás de digestión alcanza la cifra de 78,87 millones de toneladas por año, de las que el 94,09 % corresponde a estiércoles y purines, el 0,15 % a harinas SANDACH y el 5,76 % a diferentes tipos de residuos vegetales y de la industria agroalimentaria.
3. La biodigestión de subproductos agroindustriales generan en general un digestato rico en nitrógeno, por ello para facilitar su gestión y la viabilidad funcional de las instalaciones, en la mayoría de los casos, se deberá complementar el digestor con sistemas de tratamiento del digestato que faciliten su gestión.
4. Teniendo en cuenta el bajo rendimiento energético de los estiércoles y purines, la utilización de las harinas SANDACH como cosustratos potencia la producción de biogás, mejorando la rentabilidad de las instalaciones. Por ello deben fomentarse las plantas de Categoría 2 para la producción de harinas de esta categoría, ya que actualmente la mayoría de los SANDACH de Categoría 2 se están procesando en plantas de Categoría 1 y las harinas resultantes quedan invalidadas para poder ser utilizadas en plantas de biogás.
5. El potencial de generación de biogás agroindustrial en España es de 1.930 millones de m³/año, para la referida producción total de subproductos de 78,87 millones de toneladas por año.
6. En el cumplimiento de los objetivos sobre previsiones de tratamiento de subproductos SANDACH y agroindustriales ha de tenerse muy en cuenta las barreras que deben salvarse sobre capacidad de suministro de los mismos, así como los inconvenientes que se derivan de su producción muy

localizada en ciertas áreas que incide sobre los costes de transporte, especialmente en el caso de la subproductos agroindustriales.

7. Considerando un periodo de trabajo de 7.500 horas por año y una producción de 2,8 Kwh/m³ de biogás, los 1.930 millones de m³ de biogás por año, equivalen a una potencia teórica instalada total en España de 720 Mw. Estimando que un 30% de la producción de subproductos agroindustriales tiene los mejores condicionantes de tipo técnico, de manejo y económicos para ser utilizados en plantas de biogás, se puede concluir que en España, el cupo de potencia instalada para el biogás de digestión podría fijarse en 216 Mw en el nuevo PER 2012-2020.
8. Teniendo en cuenta entre otros factores el diferente dimensionamiento de las instalaciones de vertederos (RSU) y las de digestión, así como la diferencias tecnológicas entre ambos sistemas de producción de biogás, se hace imprescindible asignar cupos diferentes para cada subgrupo específico de sistema de producción de biogás que facilite el cumplimiento de los objetivos propuestos en cada uno de ellos en el nuevo PER 2012-2020.
9. El proceso de metanización se produce a temperaturas mesófila (37°C) o termófila (55°C) y por tanto ineludiblemente deberán calentarse hasta esas temperaturas los subproductos agroindustriales para que tenga lugar el proceso de biometanización. En consecuencia, teniendo en cuenta que la cogeneración genera 2.400 Kcal/m³ de biogás, el autoconsumo medio en energía térmica de la biodigestión de subproductos agroindustriales, en las condiciones productivas españolas, se sitúa en el entorno del 68% del calor efectivo generado.

Este condicionante de autoconsumo térmico de la producción de biogás de digestión deberá tenerse en cuenta a la hora de fijar los requerimientos sobre el Rendimiento Eléctrico Equivalente en la codigestión de subproductos agroindustriales.

10. La digestión del 30% de los 78,87 millones de toneladas por año de subproductos agroindustriales reducirían las emisiones de Gases de Efecto Invernadero 3.400.747 t. de CO₂-Eq/año (Por emisiones evitadas en la generación eléctrica y "Gestión de Estiércoles"), que a un precio medio del derecho de emisión de 20 €/t de CO₂, suponen 68 millones de euros anuales que pueden ahorrarse en la compra de derechos de emisión para el cumplimiento del Protocolo de Kyoto.
11. Atendiendo al tipo de subproductos agroindustriales y sus mezclas, así como en base a los costes reales de generación eléctrica de biogás de digestores, los ingresos complementarios a las actuales tarifas para rentabilizar las instalaciones, equivaldría a un incremento de tarifas que se situaría entre unos ratios de 12,33 c€/Kwh y 34,34 c€/Kwh, esta última para instalaciones de biogás con tratamiento complementario del digestato, que únicamente traten purín, y para potencias instaladas de menos de 0,5 Mw. Aunque los ingresos se expresen como incremento

de la tarifa actual (c€/kwh), ello no quiere decir que su financiación tenga que ser asumida por la misma, sino que se podrán estudiar otras fuentes de financiación complementarias a la tarifa, como puede ser la derivada del ahorro económico de la compra de derechos de emisión debida a la reducción de emisiones de CO₂.

12. Considerando un valor medio de la nueva prima eléctrica de 20,45 c€/Kwh, (Sobrecoste de 10,21 c€/Kwh sobre la actual tarifa de 10,24 c€/Kwh) y se asume la estimación de potencia instalada de 216 Mw para el biogás de digestión, resulta un coste anual total de la tarifa eléctrica de 331 millones de euros en el nuevo PER 2011-2020. Si a esta cifra se deducen los 57 Millones de euros de ahorro por la compra de derechos de emisión, resultan unas previsiones reales financieras anuales de 274 millones de euros para la tarifa eléctrica del nuevo PER 2011-2020.
13. Teniendo en cuenta que la valorizan energéticamente de subproductos agroindustriales tienen un reducido potencial de producción de biogás, las potencias instaladas, en la mayoría de los casos, no sobrepasa 1 Mw/h y por tanto en el nuevo régimen de tarifas se deben hacer más tramos de tarifa, tanto para las potencias instaladas inferiores de 500 kw/h como las mayores de 500 kw/h de los actuales tramos del Real Decreto 661/2007.
14. De forma similar al modelo alemán, sería interesante evaluar la opción de aplicar un sistema en el que las tarifas que puedan acumularse en los distintos tramos.
15. Con el fin de potenciar objetivos muy concretos como, utilización de sustratos de menor rendimiento en el proceso como los purines, tratamientos de valorización del digestato para su posterior uso como estiércol, mayor purificación del biogás para inyección en la red de gas natural, etc. se podría implementar un sistema de bonificación complementario a las tarifas, tal y como se está realizando en Alemania.
16. Para proporcionar confianza a inversores y promotores, así como para facilitar el acceso a los créditos a la inversión, las nuevas tarifas deberían estar garantizadas durante el tiempo medio de vida de estas instalaciones.
17. La conexión a las redes para la evacuación de la energía eléctrica producida por el biogás debe efectuarse mediante una distribución de cargas que hagan viable las instalaciones de digestión, por ello es necesario el desarrollo de la Disposición adicional decimotercera del Real Decreto Ley 661/07, en donde se prevé el reparto de costes y gastos entre los operadores de las redes y los productores, en este caso los de biogás.
18. Deberá homogeneizarse y simplificarse en lo posible la tramitación de las autorizaciones de las plantas de biogás, haciendo más fácil la aplicación de las diferentes normas aplicables por los distintos Departamentos ministeriales y Consejerías de las CCAA implicadas en la autorización de las mismas.

19. Las exigencias establecidas en el Real Decreto 6/2009, sobre el registro de preinscripción resulta especialmente limitante para el desarrollo del biogás de digestión, por las garantías económicas que se exigen a los promotores, especialmente para los casos de las instalaciones de pequeño tamaño del sector agroindustrial español.
20. Diversificar los usos que puede tener el biogás que se obtiene: gas natural, combustible para vehículos, etc. Así mismo, desarrollar la normativa para el aprovechamiento del biogás mediante inyección a redes de gas natural locales, como se está planteando en Alemania.
21. Potenciar la función del biogás en el desarrollo rural, quizá a través de grupos de acción local, que desarrollaran planes que sirvieran de catalizadores a nivel local, dado que el impulso de esta fuente de energía favorece el desarrollo y asentamiento rural.
22. Potenciar el I+D y la transferencia de tecnología para lograr soluciones que se adapten a las necesidades específicas de producción de nuestro sector agrario y agroindustrial.

9. ANEXO: PARTICIPANTES EN LA MESA DE BIOGÁS

- Subdirección General de Conservación de Recursos y Alimentación Animal (Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino)
- Subdirección General de Explotaciones y Sistemas de Trazabilidad (Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino)
- Subdirección General de Fomento Industrial e Innovación (Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino)
- Subdirección General de Producción y Consumo Sostenible (Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino)
- Subdirección General de Cultivos Herbáceos e Industriales (Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino)
- Secretaría General de Medio Rural (Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino)
- Oficina Española de Cambio Climático (OECC)
- Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Sector Agroalimentario (AINIA-PROBIOGÁS)
- Subdirección General de Energía Eléctrica (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio)
- Asociación Agraria de Jóvenes Agricultores (ASAJA)
- Confederación de Cooperativas Agrarias de España (CCAEE)
- Coordinadora de Organizaciones de Agricultores y Ganaderos (COAG)
- Unión de Pequeños Agricultores (UPA)
- Asociación Nacional de Industrias Transformadoras de Grasas y Subproductos Animales (ANAGRASA)
- Asociación Nacional de Comerciantes de Ganado Porcino (ANCOPORC)
- Asociación Nacional de Productores de Ganado Porcino (ANPROGAPOR)
- Asociación Española de Productores de Huevos (ASEPRHU)
- Asociación Española de Empresas de la Carne (ASOCARNE)
- Asociación Española de Productores de Vacuno de Carne (ASOPROVAC)
- Asociación Profesional de Salas de Despiece y Empresas Cárnicas (APROSA)
- Federación Catalana de Industrias de la Carne (FECIC-CONFECARNE)
- Sociedad Cooperativa Gallega (ICOS)
- Organización Interprofesional del Sector Cunícola (INTERCUN)
- Consultora Internacional de Producción de Porcino (PIGCHAMP Pro Europa, S. A.)
- Organización de Avicultura de Carne de Pollo (PROPOLLO)
- Asociación para el Desimpacto Ambiental de los Purines (ADAP)
- Asociación Española de Biogás (AEBIG)
- Asociación de Productores de Energías Renovables (APPA)
- Asociación Española de Valorización de Biomasa (AVEBIOM)
- Gestión Integral de Residuos Orgánicos (GIRO-Centro Tecnológico)
- Sistema Integrado de Gestión de Residuos Orgánicos Biosostenibles (SIGROB)