

SITUACIÓN Y POTENCIAL DE GENERACIÓN DE BIOGÁS

ESTUDIO TÉCNICO
PER 2011-2020



IDAIE

Instituto para la Diversificación
y Ahorro de la Energía

SITUACIÓN Y POTENCIAL DE GENERACIÓN DE BIOGÁS

Coordinador de la edición de Estudios Técnicos PER 2011-2020:

Jaume Margarit i Roset, Director de Energías Renovables de IDAE

Título: Situación y potencial de generación de biogás. Estudio Técnico PER 2011-2020

Madrid, 2011

Autores:

AINIA: Andrés Pascual, Begoña Ruiz, Paz Gómez

GIRO: Xavier Flotats, Belén Fernández

Coordinación y revisión IDAE: Julio Artigas, Miguel Rodrigo

Agradecimientos: IDAE agradece a los participantes en el proyecto singular estratégico PROBIOGAS todo el trabajo desarrollado en el marco de ese proyecto, que ha sido del máximo interés para la redacción de este estudio

El presente estudio ha sido promovido por el IDAE en el marco de la elaboración del Plan de Energías Renovables (PER) en España 2011-2020. Aunque el IDAE ha supervisado la realización de los trabajos y ha aportado sus conocimientos y experiencia para su elaboración, los contenidos de esta publicación son responsabilidad de sus autores y no representan necesariamente la opinión del IDAE sobre los temas que se tratan en ella.

ÍNDICE

4	Introducción
7	Terminología
9	Marco jurídico
25	Tecnologías
36	Situación actual en la Unión Europea y en España
49	Potenciales
61	Conclusiones
63	Anexos

1 Introducción

El presente trabajo tiene como objetivo difundir el potencial de generación de biogás en España. Para ello, integra resultados de diferentes estudios, que se enmarcan dentro del conjunto de trabajos previos a la elaboración del nuevo Plan de Energías Renovables 2011-2020.

Los estudios realizados han sido los siguientes:

- **Situación y potencial de generación de biogás a partir de residuos agroalimentarios en España**, realizado por Ainia Centro Tecnológico. Este estudio aporta al presente documento los potenciales de biogás agroindustrial así como una revisión del marco jurídico y la descripción de las principales tecnologías de pretratamiento, digestión anaerobia y tratamiento del digestato.
- **Situación y potencial de valorización energética directa de residuos en España**, realizado por RESA. Este estudio, que abarca todo el ámbito de la valorización energética de residuos sólidos urbanos (RSU) e industriales, desde la generación de biogás a partir de este tipo de residuos a la incineración o la producción de combustibles sólidos recuperados, aporta los resultados tanto de biogás de la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos (FORSU) como de biogás de vertedero. Para ampliar la información sobre la metodología empleada, se recomienda consultar este estudio. Los potenciales de FORSU y biogás de vertedero reflejados en el presente documento pertenecen a este estudio.
- **Análisis prospectivo de la producción y aprovechamiento energético de biogás en España**, realizado por Xavier Flotats (GIRO-centre tecnològic).

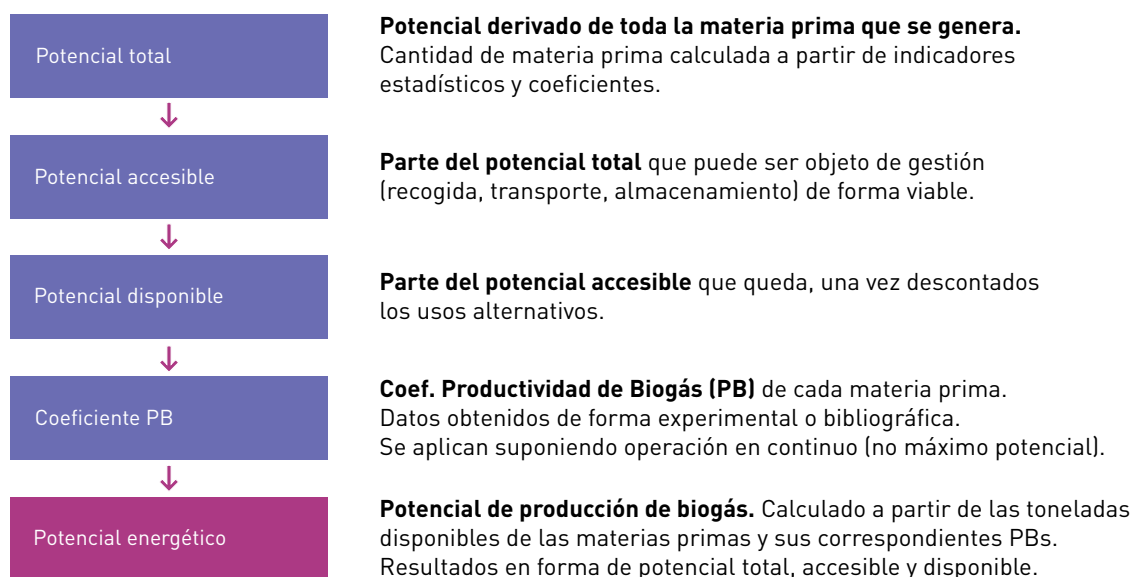
Este estudio aporta información general sobre los procesos de digestión anaerobia, la situación actual en España y la UE y proporciona los resultados de biogás a partir de lodos procedentes de estaciones depuradoras de aguas residuales urbanas (EDAR).

Aunque el presente documento presta especial atención al **biogás agroindustrial** (biogás obtenido a partir de la digestión anaerobia de residuos agroalimentarios), en el apartado 6 se incluyen los resultados a nivel nacional tanto de **biogás de FORSU** y **biogás de vertedero** como de **biogás a partir de lodos procedentes de EDAR**.

En relación con el estudio de potencial de biogás agroindustrial, en la metodología seguida se establecen diferentes términos para matizar dicho potencial: potencial total, potencial accesible y potencial disponible (Figura 1).

Para la estimación del potencial de generación de biogás a partir de los residuos agroalimentarios en España se ha identificado un "potencial total" de producción de energía primaria de biogás y se han tenido en cuenta las limitaciones que hacen que dicho potencial no sea "accesible" en todos los casos. Tomando en consideración otros usos potenciales de estos materiales, se ha estimado el "potencial disponible". Tanto los resultados como la metodología seguida se describen ampliamente en el apartado 6.3 del presente trabajo. Para una consulta rápida de la terminología utilizada puede consultarse el apartado 2.

Figura 1. Síntesis de la metodología para la estimación del potencial de biogás agroindustrial (PROBIOGAS, 2009)



Además de las estimaciones de potencial, el estudio realiza una identificación de las normativas y políticas que afectan a las plantas de biogás agroindustrial en España desde una perspectiva integral, esto es, se tienen en cuenta aspectos agrarios, ganaderos, tecnológicos, medioambientales y energéticos (apartado 3).

También se ha incluido una revisión de las tecnologías empleadas en la producción de biogás a partir de residuos agroalimentarios (apartado 4) y se ha analizado la situación del sector del biogás tanto en España como en otros países europeos, incluyéndose varios ejemplos de plantas de biogás agroindustrial (apartado 5 y anexo 8.1).

2 Terminología

A continuación se incluye la definición de algunos términos utilizados en el presente trabajo.

- Digestión anaerobia: descomposición biológica anaerobia (sin oxígeno) de la materia orgánica, para obtener biogás (metano, dióxido de carbono y trazas de otros gases) y digestato.
- Sustrato: materia prima, influente o material orgánico que se introduce en la planta de biogás.
- Purín: deyecciones generadas en las explotaciones intensivas de ganado porcino (según la metodología seguida en el proyecto PROBIOGAS).
- Estiércol: deyecciones generadas en las explotaciones intensivas de ganado vacuno (según la metodología seguida en el proyecto PROBIOGAS).
- Gallinaza: deyecciones generadas en las explotaciones intensivas de gallinas ponedoras y pollos de carne o *broilers* (según la metodología seguida en el proyecto PROBIOGAS).
- Digestato (o digerido): material semilíquido obtenido tras la (co-)digestión anaerobia de residuos orgánicos.
- Digestato sólido: fracción sólida (generalmente con un contenido en sólidos totales superior al 20%) obtenida del digestato bruto tras un proceso de separación sólido-líquido.
- Digestato líquido: fracción líquida (generalmente con un contenido en sólidos totales inferior al 5%) obtenida del digestato bruto tras un proceso de separación sólido-líquido.
- Tiempo retención hidráulica (TRH): cociente entre el volumen del digestor y el caudal, o volumen de carga diaria. La unidad en la que se expresa es "día". Indica el tiempo que el sustrato permanece por término medio en el digestor. Esta definición es válida para digestores continuos y semicontinuos, que funcionan en condiciones estacionarias. El término en inglés es *Hydraulic Retention Time* (HRT).
- Velocidad de carga orgánica (VCO): cantidad de materia orgánica introducida por unidad de volumen útil de digestor y tiempo. La unidad en la que se expresa es "kg SV/m³ y día" o "DQO/m³ y día". Valores bajos implican baja concentración en el *input* y/o elevado tiempo de retención. El término en inglés es *Organic Loading Rate* (OLR).
- Biogás agroindustrial: biogás obtenido a partir de subproductos/residuos orgánicos de origen ganadero, agrícola y de la industria alimentaria.

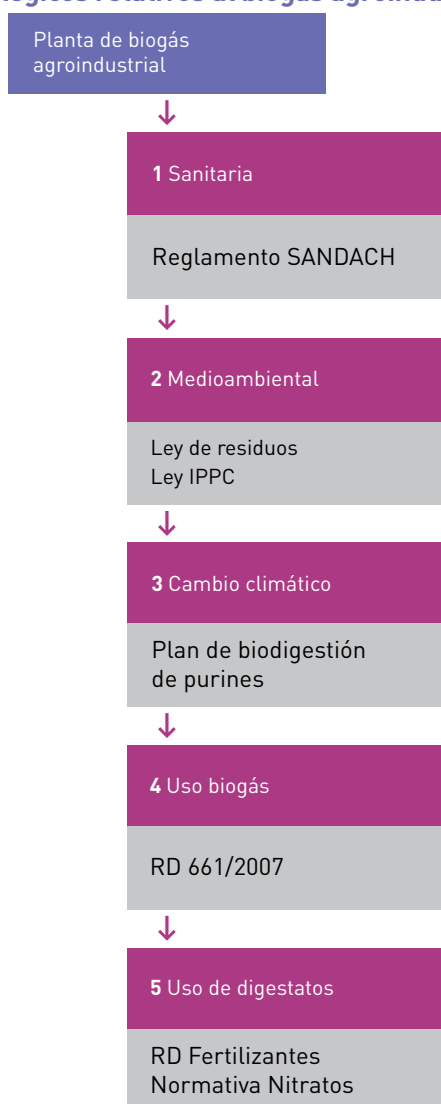
- Energía primaria: energía derivada de los recursos naturales antes de su conversión. Esta definición incluye tanto las energías fósiles como las renovables.

3 Marco jurídico

En el presente trabajo se incluyen las disposiciones legales y documentos estratégicos de la UE y España (actuales y emergentes) que se estima que pueden afectar de forma directa o indirecta al desarrollo del biogás agroindustrial en España durante el periodo 2011-2020. No obstante, la perspectiva con la cual se ha seleccionado la normativa se basa en la que está vigente actualmente tanto a nivel nacional como europeo.

Para una mayor claridad, este apartado se ha dividido en los siguientes apartados: legislación sanitaria, legislación medioambiental, cambio climático y reducción de gases de efecto invernadero (GEI), uso del biogás y uso del digestato. En la Figura 2 se destacan los principales aspectos legales y/o estratégicos a los que se hace mención en dichos apartados.

Figura 2. Principales aspectos legales y estratégicos relativos al biogás agroindustrial



3.1 LEGISLACIÓN SANITARIA

3.1.1 Unión Europea

Reglamento SANDACH (CE) 1774/2002

Reglamento (CE) nº 1774/2002 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.

El Reglamento 1774/2002 ha sido derogado por el Reglamento (CE) nº 1069/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo de 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) nº 1774/2002 (Reglamento sobre subproductos animales).

Esta normativa entró en vigor a los 20 días de su publicación, es decir, el 4 de diciembre de 2009, aunque no será aplicable hasta el 4 de marzo de 2011. Este reglamento (nº 1069/2009) incluye dentro de su ámbito de aplicación la producción de biogás a partir de subproductos animales, así como el requisito de autorización previa a las plantas que realicen esta operación. **El Reglamento de implementación del Reglamento SANDACH 1069/2009 fue aprobado en el Comité Permanente de la Cadena Alimentaria y Sanidad Animal el 12 octubre de 2010.**

El Reglamento afecta a subproductos de origen animal que no son destinados al consumo humano por su naturaleza o por decisión del operador (motivos comerciales, defectos, etc.). Se regula su gestión para evitar posibles problemas principalmente para la salud humana y animal, o para el medio ambiente, protegiendo así la cadena alimentaria y animal. Los subproductos se regulan en función de su riesgo en tres categorías (C1, C2, C3), de mayor a menor riesgo. El Reglamento regula los canales de gestión permitidos para cada categoría: tratamientos, sistemas de eliminación, usos permitidos, etc.

Las actividades generadoras de subproductos de origen animal no destinados al consumo humano (SANDACH) pertenecen principalmente a los siguientes sectores: cárnico (mataderos, salas de despiece e industrias de transformación en productos cárnicos), industrias lácteas, industrias de

huevos y ovoproductos, sector pesquero (transformación e industrias conserveras), sector apícola (miel y polen), platos preparados (que empleen materias primas de origen animal), hoteles, restauración y catering (HORECA), entre otros.

La definición de “estiércol” incluida en el Reglamento (CE) nº 1069/2009 es: “todo excremento u orina de animal de granja distinto a los peces de piscifactoría, con o sin lecho”. Por tanto, afecta a los estiércoles/camas de ganado bovino, purines de cerdo, y deyecciones de otras especies que se críen en granjas y sean valorizados en plantas de biogás.

Los residuos de industrias que emplean conjuntamente materias primas de origen vegetal y animal (y por tanto residuos mixtos) son considerados también SANDACH (ej. elaboración de platos preparados).

Salvo los materiales de origen vegetal (no mezclados con SANDACH), el resto de materias primas agroindustriales para la producción de biogás son en su gran mayoría SANDACH, por lo que los requisitos de esta normativa son clave para la autorización de casi todas las plantas de biogás.

Existe una gran variedad de subproductos SANDACH. A modo de ejemplo se muestran algunos de categorías 2 y 3 generados en un matadero de cerdos:

Categoría 2: estiércol, contenido del tubo digestivo, subproductos animales recogidos durante el tratamiento de aguas residuales, etc.

Categoría 3: canales y partes de animales sacrificados, que sean aptos para el consumo humano pero no se destinen a ello por motivos comerciales, plumas, etc.

Para conocer con más detalle los distintos tipos y clasificaciones de los SANDACH se recomienda la consulta de la página web www.sandach.com.es.

Por supuesto, el biogás constituye una de las alternativas de valorización incluidas en el Reglamento para muchos tipos de subproductos. La siguiente tabla muestra las categorías a las que se les permite su valorización en plantas de biogás, los pretratamientos obligatorios (si procede) antes de la digestión anaerobia, así como los usos finales permitidos para los digestatos obtenidos (ver Tabla 1).

Tabla 1. Valorización de subproductos SANDACH en plantas de biogás

Descripción	Procesamiento previo a su transformación en biogás	Usos permitidos para digestatos
SANDACH C1	No puede usarse para la producción de biogás	Eliminación
SANDACH C2	Esterilización a presión y marcado permanente del material	Fertilizantes/Enmiendas
Estiércol, tubo digestivo y su contenido, leche, calostro, huevos y ovoproductos	No requiere procesamiento previo	Fertilizantes/Enmiendas
SANDACH C3	La pasteurización no es obligatoria en todos los casos ¹	Fertilizantes/Enmiendas

¹Según Reglamento de implementación

El Reglamento (CE) nº 1069/2009 incorpora los siguientes requisitos adicionales para las plantas de biogás que procesan SANDACH:

- Disponer de AUTORIZACIÓN concedida por la autoridad competente. Esta autorización es adicional a la autorización de carácter ambiental.
- Equipos e instalaciones: unidad de pasteurización de paso obligatorio (si procede), instalaciones

- de limpieza y desinfección de vehículos y contenedores a la salida, laboratorio propio o externo (aprobado por la autoridad competente), en explotaciones ganaderas, separación física de los animales si usan estiércoles de otras explotaciones.
- Condiciones de higiene: almacenamiento adecuado, zona específica para limpieza y desinfección de vehículos y contenedores, transformación sin

demora indebida, programas documentados, calibración de equipos, manipulación de digestatos para evitar contaminación cruzada.

- Implantación y mantenimiento de un sistema de Análisis de Peligros y Puntos de Control Crítico (APPCC).

Un aspecto relevante del nuevo reglamento es la mención expresa del uso permitido de los digestatos como fertilizantes o enmiendas.

También cabe destacar la existencia dentro del reglamento de una norma microbiológica aplicable a los subproductos SANDACH durante o inmediatamente después del tratamiento de digestión, y durante el almacenamiento o salida de los digestatos (ver apartado 3.5.1).

Desde el punto de vista del explotador, todos estos requisitos constituyen un coste de inversión (equipos e instalaciones de limpieza y desinfección) y de explotación (personal, costes analíticos, productos de desinfección, etc.) que debe tenerse en cuenta en el análisis de viabilidad económica de las plantas de biogás que procesen SANDACH.

3.1.2 España

Real Decreto 1429/2003. SANDACH

RD 1429/2003, de 21 de noviembre, por el que se regulan las condiciones de aplicación de la normativa comunitaria en materia de subproductos de origen animal no destinados a consumo humano.

El RD 1429/2003 regula algunos aspectos específicos del Reglamento nº 1774/2002 pero no modifica lo relativo al aprovechamiento de estos subproductos para producción de biogás. Este Real Decreto establece la creación de una Comisión Nacional SANDACH, constituida efectivamente en mayo de 2005, e integrada por representantes de todas las administraciones implicadas, tanto en el ámbito de la Administración General del Estado (AGE), como en el de las comunidades autónomas (CCAA) y las Entidades Locales.

Es importante destacar que la normativa nacional se verá afectada en un corto periodo de tiempo por los cambios en la legislación comunitaria. En particular, los subproductos de origen animal deben cumplir las condiciones que se especifican en **el Reglamento (CE) nº 1774/2002, aunque tal y como ya se ha comentado, este será sustituido por el Reglamento 1069/2009 a partir del 4 de marzo de 2011.**

3.2 LEGISLACIÓN MEDIOAMBIENTAL

3.2.1 Unión Europea

Directiva Marco de Residuos. 2008/98/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.

Esta Directiva se deberá incorporar al derecho nacional antes del 12 de diciembre de 2010. Antes de esta fecha, los Estados miembros pondrán en vigor las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas necesarias para dar cumplimiento a lo estipulado en la Directiva, que establece 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. A partir de la citada fecha quedarán derogadas la Directiva 75/439/CEE, relativa a la gestión de aceites usados; la Directiva 91/689/CEE, relativa a los residuos peligrosos; y la Directiva 2006/12/CE, relativa a los residuos.

Autorización de "gestor de residuos"

Uno de los principales requisitos de la Normativa de Residuos y que afecta a las plantas de biogás es la obligación de obtener una autorización como gestor de residuos para desarrollar la actividad de valorización de subproductos SANDACH. En este sentido, la Directiva Marco de Residuos 2008/98/CE (en adelante DMR) clarifica el vínculo que existe con el Reglamento SANDACH 1774/2002, y establece que los subproductos que son valorizados en plantas de biogás NO están excluidos de cumplir la Normativa de Residuos. En concreto, indica que quedan excluidos de la Directiva los:

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 de compostaje.

Por tanto, los promotores de plantas deben obtener la correspondiente autorización ambiental como gestores de residuos, que determinará la cantidad y el tipo de residuos tratados, el método utilizado, así como las operaciones de seguimiento y control.

Los “biorresiduos”

La DMR presta una especial atención a un tipo determinado de residuos que denomina “biorresiduos”. Por biorresiduos se entiende los residuos biodegradables 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. No se incluyen los residuos agrícolas o forestales, el estiércol, los lodos de depuración ni otros residuos biodegradables como textiles naturales, papel o madera tratada. También quedan excluidos los subproductos de la industria alimentaria que nunca se convierten en residuos (piensos para alimentación animal).

Las medidas específicas para los biorresiduos constituyen uno de los elementos principales de la DMR. Cabe esperar en el desarrollo de la Directiva, un impulso a la recogida separada de los biorresiduos de hogares, del canal HORECA (hoteles, restauración catering, consumo al por menor), y otros similares procedentes de plantas de transformación de alimentos. En concreto la DMR indica que:

Los Estados miembros adoptarán medidas, en la forma conveniente, y con arreglo a los artículos 4 y 13, para impulsar: a) la recogida separada de biorresiduos con vistas al compostaje y la digestión de los mismos; b) el tratamiento de biorresiduos, de tal manera que se logre un alto grado de protección del medio ambiente; c) el uso de materiales ambientalmente seguros producidos a partir de biorresiduos.

A este respecto, destaca la posibilidad de que en un futuro puedan establecerse requisitos sobre gestión de los biorresiduos y criterios de calidad para el digestato y el compost obtenido a partir de ellos.

En definitiva, el desarrollo de la DMR debe suponer una mayor disponibilidad y calidad de materias primas para plantas de biogás agroindustrial, y por tanto, una mayor realizabilidad del potencial de biogás en España. Una tendencia legislativa favorable sin lugar a dudas al desarrollo del sector del biogás.

La digestión anaerobia, operación de reciclado de materiales orgánicos biodegradables

Otra novedad de la DMR es la clarificación de la jerarquía de residuos que marcará las prioridades de la legislación nacional sobre prevención y gestión de residuos. Se ha definido del siguiente modo:

1. PREVENCIÓN > 2. REUTILIZACIÓN >
3. RECICLAJE > 4. VALORIZACIÓN (energética) >
5. ELIMINACIÓN.

De acuerdo con el Anexo II sobre Operaciones de Valorización, al tratamiento realizado en una planta de biogás le correspondería el código R3, y en menor medida el R1.

R3 Reciclado o recuperación de sustancias orgánicas que no se utilizan como disolventes (incluidos el compostaje y otros procesos de transformación biológica).

R1 Utilización principal como combustible u otro modo de producir energía.

En definitiva, por su condición de operación de reciclado, la nueva normativa europea y la que se derive a nivel nacional tenderá a priorizar esta alternativa frente a valorizaciones únicamente energéticas, y por supuesto, por delante de opciones de eliminación como el vertedero.

Directiva de Vertederos. 99/31/CE

Directiva 99/31/CE del Consejo de 26 de abril 1999 relativa al vertido de residuos.

Las razones para el desvío de los residuos biodegradables de los vertederos hacia la valorización son en primer lugar, evitar los impactos negativos que provoca en el medio ambiente su vertido, y en segundo lugar, valorizar unos residuos que tienen un alto potencial de reciclaje y un posible uso beneficioso en la agricultura o en la mejora de suelos.

Para reducir los residuos biodegradables que son depositados en los vertederos, esta Directiva programó la reducción de la entrada, gradual y obligatoria, con valores de reducción del 25% a los 5 años, 50% a los 8 años y 65% a los 15 años a partir de la transposición de la directiva a las legislaciones estatales (año 2001) y respecto a la producción española de residuos biodegradables en el año 1995. Esto implica que en el año 2009, la reducción debía alcanzar el 50% y en el 2016 deberá llegar al 65%.

De acuerdo con esta Directiva, se prevé una mayor disponibilidad de residuos biodegradables potencialmente aprovechables para la producción de biogás.

Libro Verde Gestión Biorresiduos en la UE

Libro Verde sobre la gestión de los biorresiduos en la UE. Comisión de las Comunidades Europeas. COM (2008) 811 final. 3-12-08.

Destaca que la digestión anaerobia es especialmente adecuada como tratamiento de biorresiduos

húmedos, incluidas las grasas (por ejemplo, residuos de cocina). Además, señala que gracias al biogás producido se pueden reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), en particular si se utiliza como combustible para el transporte o se inyecta directamente en la red de distribución de gas.

Según las estimaciones, el total anual de biorresiduos generados en la UE se sitúa entre 76,5 y 102 millones de toneladas de residuos de alimentos y de jardinería incluidos en los residuos sólidos urbanos mezclados y en hasta 37 millones de toneladas procedentes de la industria alimentaria y de la bebida. (Libro Verde de Biorresiduos, 2008).

Directiva IPPC. 2008/1/CE

Directiva 2008/1/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 15 de enero de 2008, relativa a la prevención y al control integrado de la contaminación.

La Directiva (conocida como "Directiva IPPC") y que sustituye a la Directiva 96/61/CE, somete a autorización las actividades industriales y agrícolas que presentan un elevado potencial de contaminación y se definen en el Anexo I de la Directiva (industrias de actividades energéticas, producción y transformación de los metales, industria mineral, industria química, **gestión de residuos**, industria alimentaria, cría intensiva de animales, etc.).

Define la necesidad de obtener la Autorización Ambiental Integrada (AAI), para poder iniciar la actividad, el concepto de las Mejores Técnicas Disponibles (MTD) como medida de protección del medio ambiente.

En la Autorización Ambiental Integrada se fijarán los condicionantes ambientales exigibles y, entre otros aspectos, se especificarán los valores límite de emisión de sustancias contaminantes que se asignen para esa instalación o, si así se determina reglamentariamente, las medidas técnicas de carácter equivalente que complementen o sustituyan a los valores límite de emisión. Estos deberán basarse en las mejores técnicas disponibles, tomando en consideración las características técnicas de la instalación, su implantación geográfica y las condiciones locales del medio ambiente. Adicionalmente, la IPPC establece transparencia informativa en las instalaciones IPPC.

El objetivo de la Directiva es la prevención y la reducción integrada de la contaminación procedente de las actividades que figuran en el Anexo I, entre las que se encuentran las **instalaciones para la eliminación o aprovechamiento de residuos no peligrosos** (según se definen en los Anexos II A y B de la Directiva 2006/12/CE), **de una capacidad de más de 50 t/d**. En

particular, en el Anexo II B, se cita a las instalaciones que utilicen principalmente residuos no peligrosos como combustible o como otro medio de generar energía, como sería el caso de una planta de biogás.

Las plantas con una capacidad inferior a 50 t/d no requieren autorización ambiental integrada y el tipo de licencia ambiental requerido depende de la legislación de cada comunidad autónoma en el caso de España.

Esta Directiva ha sido recientemente actualizada mediante la Directiva 2010/75.

3.2.2 España

Ley 10/1998. Residuos

Esta Ley tiene por objeto prevenir la producción de residuos, establecer el régimen jurídico de su producción y gestión y fomentar, por este orden, su reducción, su reutilización, reciclado y otras formas de valorización, con la finalidad de proteger el medio ambiente y la salud de las personas.

La Ley es de aplicación a todo tipo de residuos, con las siguientes exclusiones: las emisiones a la atmósfera, los residuos radiactivos, los vertidos de efluentes líquidos a las aguas continentales, los vertidos desde tierra al mar, los vertidos desde buques y aeronaves al mar (tienen su legislación específica).

Las competencias en materia de gestión y valorización de residuos están transferidas. Corresponde a las comunidades autónomas la elaboración de los planes autonómicos de residuos y la autorización, vigilancia, inspección y sanción de las actividades de producción y gestión de residuos. Por tanto, la autorización de la actividad de gestión de residuos asociada a una planta de biogás, corresponde otorgarla a la administración autonómica.

A la Administración General del Estado se le otorga la competencia de integrar los respectivos planes autonómicos y elaborar los Planes Nacionales de Residuos en los que se fijarán los objetivos específicos de reducción, reutilización, reciclado, otras formas de valorización y eliminación; las medidas a adoptar para conseguir dichos objetivos; los medios de financiación, y el procedimiento de revisión.

NO aplicación de la Ley 10/98 a residuos ganaderos utilizados en agricultura

Cabe destacar que la Ley hace una exclusión de las deyecciones ganaderas de su ámbito de aplicación cuando se aplican como fertilizantes en el marco de explotaciones agrarias.

No las considera residuos (ni vertidos) y les libera de la obligación de solicitar autorización para realizar su gestión. Se considera que existe normativa específica para regular expresamente su gestión, en concreto, la Normativa SANDACH y la Normativa de Nitratos, que incluye un código de buenas prácticas agrícolas.

A continuación se aclaran estas exclusiones:

En el Artículo 2 que define el ámbito de aplicación, y en concreto, en el punto 2 sobre aplicaciones “supletorias”, es decir, casos en los que la Ley suplirá una falta de legislación o potencial deficiencia en una Ley, con relación al ámbito de sus competencias, se indica lo siguiente:

2. La presente Ley será de **aplicación supletoria** a las materias que se enuncian a continuación en aquellos aspectos regulados expresamente en su normativa específica:

a)

b) *La eliminación y transformación de animales muertos y desperdicios de origen animal, en lo regulado en el RD 1429/2004, de 21 noviembre, sobre subproductos animales no destinados a consumo humano, que transpone el Reglamento (CE) n° 1774/2002, de 3 de octubre.*

c) *Los residuos producidos en las explotaciones agrícolas y ganaderas consistentes en materias fecales y otras sustancias naturales y no peligrosas, cuando se utilicen en el marco de las explotaciones agrarias, en lo regulado en el RD 261/1996, de 16 de febrero, sobre protección de las aguas contra la contaminación producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias y en la normativa que apruebe el Gobierno en virtud de lo establecido en la disposición adicional quinta.*

Al existir legislación específica, RD 1429/2003 (SANDACH) y RD 261/1996 (Nitratos), que regula su gestión, no habría aplicación supletoria de la Ley de Residuos y por tanto no sería de aplicación a los residuos ganaderos.

Por otro lado, la **Disposición Adicional QUINTA**, de la Ley 10/98 de Residuos establece que la utilización como fertilizante agrícola de los purines y estiércoles no está sometida a autorización de gestor de residuos (regulada por el Artículo 13), ya que estará sometida a normativa específica que apruebe el Gobierno y las CCAA como complemento a lo ya establecido en el RD 261/1996 (Nitratos). La Disposición Adicional Quinta dice en concreto lo siguiente:

La utilización como fertilizante agrícola de los residuos producidos en las explotaciones agrícolas y ganaderas consistentes en materias fecales y otras sustancias naturales y no peligrosas, no estará sometida a la autorización administrativa regulada en el artículo 13 de esta Ley y estará sujeta a la normativa que a estos efectos apruebe el Gobierno y a las normas adicionales que, en su caso, aprueben las CCAA.

La normativa del Gobierno se realizará a propuesta conjunta de los Departamentos de Medio Ambiente y del MAPA, como complemento a lo ya establecido en el RD 261/1996, de 16 de febrero, sobre protección de las aguas contra la contaminación producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias. En esta normativa se fijarán los tipos y cantidades de residuos que puedan ser utilizados como fertilizante y las condiciones en las que la actividad queda dispensada de la autorización, y se establecerá que la mencionada actividad deberá llevarse a cabo sin poner en peligro la salud humana y sin utilizar procedimientos o métodos que puedan perjudicar al medio ambiente, y en particular sin producir contaminación al agua.

2. *El Gobierno aprobará la normativa citada en el apartado anterior en el plazo de 9 meses desde la entrada en vigor de esta Ley.*

3. *Si los residuos (subproductos) regulados en esta disposición adicional son utilizados en la forma señalada en los apartados anteriores, se considerará que no se ha producido una operación de vertido (residuos), a los efectos establecidos en el artículo 92 de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas.*

En virtud de esto, los purines y estiércoles no son residuos, y, si su aplicación se hace en base a norma, RD 261/96 (Nitratos), junto con el código de buenas prácticas agrarias, por parte del agricultor, y del programa de gestión por parte del ganadero, en ningún momento debe ser considerada como vertido.

El 8 de septiembre de 2005 el Tribunal de Justicia de las Comunidades Europeas dictó sentencia en relación con el asunto C-416/02, reconociendo el uso agrícola de estiércoles y purines como una práctica de abonado de suelos exenta de la aplicación de la Directiva de Residuos.

Sin embargo, en el Real Decreto 324/2000, de 3 de marzo, por el que se establecen normas básicas de ordenación de las explotaciones porcinas, se indica que las actividades de valorización y eliminación de estiércoles por procesos de compostaje, secado artificial y otros similares, se realizarán según lo establecido en los artículos 13 y 14 de la

Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos. Por tanto, las plantas de biogás, que traten deyecciones ganaderas Sí están sometidas a la autorización bajo la Ley 10 de Residuos y deberán solicitarla al organismo competente medioambiental de las respectivas CCAA **en el caso en que la comunidad autónoma lo exija**. Esto implica que los ganaderos que deseen valorizar sus deyecciones ganaderas en una planta de biogás, en función de lo establecido en su CCAA, **pueden ser eximidos de la exigencia de la autorización de gestor de residuos**.

En el momento de edición de este Estudio, se encontraba en fase de tramitación el proyecto de Ley de Residuos y Suelos Contaminados, que transpone la Directiva 2008/98 y actualizará la Ley 10/98.

Orden MAM/304/2002

Incluye la publicación de las operaciones de valorización y eliminación de residuos y la lista europea de residuos. En los anexos de la Orden se encuentran los códigos LER de los residuos agroindustriales potencialmente empleables en plantas de biogás.

Plan Nacional Integrado de Residuos (PNIR)

Resolución de 20 de enero de 2009, de la Secretaría de Estado de Cambio Climático, por la que se publica el Acuerdo del Consejo de Ministros por el que se aprueba el Plan Nacional Integrado de Residuos para el período 2008-2015.

Este Plan Nacional Integrado de Residuos (PNIR) incluye los residuos domésticos y similares, los residuos con legislación específica, los suelos contaminados, además de algunos residuos agrarios e industriales no peligrosos que aunque no disponen de regulación específica, son relevantes por su cuantía y su incidencia sobre el entorno. Este Plan incluye además, la Estrategia de Reducción de Vertido de Residuos Biodegradables, que cumpliendo con una obligación legal, contribuye a alargar la vida de los vertederos, a disminuir su impacto sobre el entorno y de forma especial a la reducción de GEI. Esta estrategia se centra principalmente en los residuos orgánicos de origen domiciliario. En relación a otros residuos biodegradables como los procedentes de la industria agroalimentaria señala que es necesario, previamente a la proposición de medidas para reducir su vertido, una mejora de la información sobre su generación y gestión.

Real Decreto 1481/2001. Vertederos

RD 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero.

De acuerdo con el RD 1481/2001, los porcentajes máximos de Residuos Urbanos Biodegradables que podrán depositarse en vertederos en el período 2006-2016, son los indicados en la Tabla 2, con respecto a 1995.

Tabla 2. Cantidad máxima de residuo urbano biodegradable autorizada a vertedero

Año	Porcentaje (%)	Cantidad (t)
2006	75	8.724.750
2009	50	5.816.500
2016	35	4.071.550

Ley 16/2002. IPPC

La Ley 16/2002, de 1 de julio, de Prevención y Control Integrados de la Contaminación (IPPC), y sus sucesivas modificaciones, obliga a las instalaciones afectadas (ver Anexo de la Ley) a obtener un permiso único denominado Autorización Ambiental Integrada (AAI) que reúne en un solo acto administrativo la concesión de todas las autorizaciones ambientales (impacto ambiental, autorización para la gestión de residuos, captación y depuración de aguas, emisiones, etc.).

Las competencias están transferidas a las CCAA por lo que la solicitud se realiza a los órganos ambientales competentes de las CCAA. Se conceden por un plazo máximo de 8 años (requieren renovación sucesiva).

3.3 CAMBIO CLIMÁTICO Y REDUCCIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI)

3.3.1 Unión Europea

Protocolo de Kioto

Protocolo de Kioto, obligaciones para las naciones de la Unión Europea, 1997.

El 11 de diciembre de 1997 los países industrializados se comprometieron, en la ciudad de Kioto, a ejecutar un conjunto de medidas para reducir los gases de efecto invernadero. En concreto del

dióxido de carbono (CO₂), gas metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O), además de tres gases industriales fluorados: hidrofluorocarbonos (HFC), Perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆).

Los gobiernos signatarios de dichos países pactaron reducir en al menos un 5% en promedio las emisiones contaminantes entre 2008 y 2012, tomando como referencia los niveles de 1990.

La Unión Europea, como agente especialmente activo en la concreción del Protocolo, se comprometió a reducir sus emisiones totales medias durante el periodo 2008-2012 en un 8% respecto de las de 1990.

No obstante, a cada país se le otorgó un margen distinto en función de diversas variables económicas y medioambientales según el principio de «reparto de la carga», de manera que dicho reparto se acordó de la siguiente manera Unión Europea: Alemania (-21%), Austria (-13%), Bélgica (-7,5%), Dinamarca (-21%), Italia (-6,5%), Luxemburgo (-28%), Países Bajos (-6%), Reino Unido (-12,5%), Finlandia (-2,6%), Francia (-1,9%), **España (+15%)**, Grecia (+25%), Irlanda (+13%), Portugal (+27%) y Suecia (+4%).

Dictamen del Comité Económico y Social Europeo. Cambio climático y Agricultura

Dictamen del Comité Económico y Social Europeo sobre el tema "El cambio climático y la agricultura en Europa" (2009/C27/14).

Señala la necesidad de generar empleo basado en una agricultura y política agrícola que luchen contra el cambio climático, para ello, destaca la posibilidad de creación y el número de nuevos puestos de trabajo que conlleva la producción de bioenergías. Particularmente, el Comité Consultivo Científico del Ministerio Federal de Agricultura de Alemania espera que los mayores efectos en el empleo y la protección del clima se produzcan cuando se haga hincapié en la producción de bioenergía en centrales térmicas de cogeneración, en instalaciones de calefacción que utilicen las virutas de madera y a partir del biogás procedente del estiércol y los residuos.

Reglamento (CE) nº 74/2009. FEADER

Reglamento (CE) nº 74/2009 del Consejo, de 19 de enero de 2009, por el que se modifica el Reglamento (CE) nº 1698/2005, relativo a la ayuda al desarrollo rural a través del Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural (FEADER).

Señala que a partir del 2010, los estados miembros incorporarán en sus programas de desarrollo

rural determinadas operaciones relacionadas con la prioridad energías renovables, tales como producción de biogás utilizando residuos orgánicos (producción en explotaciones y local). Destaca como posibles efectos medioambientalmente beneficiosos, la sustitución de combustibles fósiles y la reducción de las emisiones de metano a la atmósfera.

3.3.2 España

Estrategia Española de Cambio Climático y Energía Limpia. Horizonte 2012

En el año 2005 las emisiones totales de GEI alcanzaron en España las 440,6 Mt de CO₂-equivalente. Esta cifra supone un 52,2% de aumento respecto a las emisiones del año base, o lo que es lo mismo, casi 37,2 puntos porcentuales de exceso sobre el compromiso adquirido en el Protocolo de Kioto, de 1997.

El **Plan Nacional de Asignación (PNA)** de derechos de emisión de gases de efecto invernadero, 2008-2012, aprobado por Real Decreto 1370/2006, persigue que las emisiones globales de GEI en España no superen en más de un 37% las del año base en promedio anual en el periodo 2008-2012, alcanzándose esta cifra a través de la suma del objetivo Kioto (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 Kioto (20%).

En esta línea, el 20 de julio de 2007 el Gobierno informó favorablemente, para su remisión al Consejo Nacional del Clima y a la Comisión de Coordinación de Políticas de Cambio Climático la **Estrategia Española de Cambio Climático y Energía Limpia (Horizonte 2007-2012-2020)**, la cual define el marco de actuación que deben abordar las Administraciones Públicas en España para asegurar el cumplimiento por nuestro país de sus obligaciones en el Protocolo de Kioto e incluye un **Plan de Medidas Urgentes** de la Estrategia de Cambio Climático y Energía Limpia (EECCEL) que contempla más del 65 por ciento de las medidas contenidas en la Estrategia, entrando en acción antes de finales de 2007 y para cada una de las cuales se establece el Ministerio responsable, el plazo y los recursos requeridos y las emisiones de GEI evitadas en el periodo 2008-2012.

A su vez, dicho Plan de Medidas Urgentes recoge el **Plan de Biodigestión de Purines**.

Aplicable tanto en instalaciones con digestores rurales sobre balsas como en instalaciones con digestores industriales en régimen centralizado o para explotaciones individuales, cuyo objeto principal es la reducción de emisiones de GEI en la gestión de purines y, al mismo tiempo, en las zonas vulnerables o con alta concentración ganadera, se facilitará, para el caso de las instalaciones con digestores industriales, la gestión del nitrógeno contenido en el digestato mediante post-tratamientos como por ejemplo separación sólido-líquido, la eliminación o reducción-separación de nitrógeno de los purines.

Plan de biodigestión de purines

Plan de biodigestión de purines para la reducción de los gases de efecto invernadero (GEI), aprobado por el Consejo de Ministros el 26 de diciembre de 2008.

RD 949/2009, de 5 de junio, por el que se establecen las bases reguladoras de las subvenciones estatales para fomentar la aplicación de los procesos técnicos del Plan de biodigestión de purines.

Este Plan forma parte del Plan de Medidas Urgentes de la Estrategia del Cambio Climático y Energía, y contempla la implantación de procesos tecnológicos de metanización de los purines para la reducción de las emisiones de GEI y, para las zonas vulnerables o con alta concentración ganadera, la posibilidad de complementar la metanización de los purines con post-tratamientos de reducción o eliminación de nitrógeno del purín.

En concreto, este plan de ayudas favorece especialmente a las plantas de biogás que aprovechan residuos ganaderos (en particular, purín de porcino), y pueden llegar hasta el 40% de la inversión. Se ha priorizado el tratamiento de los purines de ganado porcino debido a que a nivel nacional las emisiones de metano procedentes de la gestión de los estiércoles, proceden en torno a un 90% del ganado porcino.

Por ello, el porcentaje en la mezcla a codigerir de los purines de otras especies ganaderas distintas del purín de porcino no puede ser superior al 30% en volumen. Además, a partir del 20% en volumen de co-sustrato distinto a los estiércoles incluido en la mezcla se reduce la subvención, en particular, se reduce un 5% el porcentaje de subvención por cada incremento del 10% en volumen de cosustrato sobre el referido 20%.

3.4 USO DEL BIOGÁS

3.4.1 Unión Europea

Certificados verdes y sistemas de precios mínimos (tarifas/primas)

Las políticas europeas que fijan objetivos de generación de energía a partir de fuentes renovables han dado lugar a la aparición de distintos sistemas de incentivos económicos a la producción de electricidad a partir de biogás en los Estados miembros.

El apoyo de la producción energética mediante fuentes renovables en los países europeos se basa en el sistema de cuotas vía certificados verdes y en los sistemas de precios mínimos (tarifas/primas).

El primer mecanismo, el sistema de cuotas, es un sistema de promoción que divide la electricidad producida a partir de fuentes renovables en dos productos, por una parte la energía eléctrica generada y por otra su "calidad verde o el carácter de renovable". La "calidad verde" se certifica mediante los "certificados verdes", los cuales son asignados al productor de electricidad por las autoridades públicas.

Ambos *productos*, se comercializan de forma separada, la electricidad en el mercado eléctrico, y los certificados en un mercado de certificados separado. El mecanismo de promoción consiste en la obligación de la parte obligada, normalmente el suministrador eléctrico, de demostrar que una cierta cuota (definida por las autoridades públicas) de la electricidad vendida proviene de fuentes renovables. Esto queda demostrado mediante la presentación de "certificados verdes", los cuales han sido asignados al suministrador por producir energía a partir de fuentes renovables o porque han sido comprados en el mercado de certificados.

Al productor de electricidad a partir de fuentes renovables se le compensa por su más alto coste de producción vía certificado verde. El sistema de promoción de las renovables vía cuota es en esencia el precio del certificado, el cual se destina al productor de energía a partir de fuentes renovables y se añade al precio que obtiene en el mercado eléctrico.

El segundo mecanismo garantiza, durante un período de tiempo determinado, una tarifa fija por energía eléctrica procedente de fuentes renovables e introducida en la red, obliga además a las empresas y a los operadores de la red eléctrica

a comprar la electricidad procedente de fuentes renovables. En algunos países como Alemania y España, existe además una retribución complementaria a esta tarifa fija (por ejemplo, en Alemania existe el bono tecnológico por uso del calor, o en España, una mayor prima por venta de la energía eléctrica cuando en la cogeneración se aprovecha el calor). Los factores que se tienen en cuenta para esta prima son el nivel de tensión de entrega de la energía a la red, la contribución a la mejora del medio ambiente, el ahorro de energía primaria, la eficiencia energética y los costes de inversión en que se haya incurrido.

Entre los países que utilizan el certificado verde se encuentran: Bélgica, Reino Unido, Italia (también sistema de tarifa fija), Polonia, Rumanía y Suecia.

Mientras que los países europeos que aplican el sistema de tarifa fija/prima son los siguientes: Austria, Chipre, República Checa, Estonia, Dinamarca, Francia, Alemania, Grecia, Hungría, Irlanda, Lituania, Luxemburgo, Países Bajos, Portugal, Eslovaquia, Eslovenia, España, Letonia y Bulgaria.

Directiva de Energías Renovables. 2009/28/CE

Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables por la que se modifican y derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE.

La Directiva tiene en cuenta (en el punto 12 de las consideraciones iniciales) el importante potencial de ahorro en materia de emisiones de gases de efecto invernadero, así como otras ventajas medioambientales (producción de calor y de electricidad, utilización como biocarburantes), asociadas al aprovechamiento de materias agrarias como el estiércol y los purines u otros residuos de origen animal, para la producción de biogás. Además, señala que como consecuencia de su carácter descentralizado y de la estructura de las inversiones regionales, las instalaciones de biogás pueden aportar una contribución decisiva al desarrollo sostenible en las zonas rurales y ofrecer a los agricultores nuevas posibilidades de ingresos.

En cuanto al trámite de autorización, el artículo 13 señala que los Estados miembros (EEMM) velarán porque 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 renovables, y al proceso de transformación de biomasa en biocarburantes u otros productos energéticos, sean proporcionadas y necesarias. En particular los EEMM adoptarán las medidas apropiadas para garantizar que:

- Sin perjuicio de las diferencias entre las estructuras administrativas y la organización de los EEMM, las responsabilidades respectivas de los organismos administrativos nacionales, regionales y locales en materia de procedimientos de autorización, certificación y concesión de licencias se coordinen y definan claramente, lo que comprende la planificación espacial, con calendarios transparentes para la determinación de las solicitudes de planificación y construcción.
- Se proporcione a los solicitantes, al nivel apropiado, información exhaustiva sobre la tramitación de las solicitudes de autorización, certificación y licencia para instalaciones de energía renovable y sobre las ayudas disponibles para los solicitantes.
- Los procedimientos administrativos se racionalicen y se aceleren en el nivel administrativo adecuado.
- Las tasas administrativas pagadas por los consumidores, los planificadores, los arquitectos, los constructores y los instaladores y proveedores de equipos y sistemas sean proporcionales a los costes, y
- Se instauren procedimientos de autorización simplificados y menos onerosos, incluida la simple notificación si está permitido en el marco regulador aplicable, para los proyectos de menor envergadura y para los equipos descentralizados para la producción de energía eléctrica procedente de fuentes renovables.

La Directiva 2009/28/CE también dispone en materia de acceso a las redes y funcionamiento de las mismas, aspectos de vital importancia para el desarrollo del biogás, como proporcionar facilidades para la conexión a red eléctrica y la inyección en redes de gas natural, incluyendo:

- Posibilidad de modificar las infraestructuras existentes de redes de gas para facilitar la integración del gas procedente de fuentes renovables (artículo 16.9).
- Posibilidad de que los EEMM exijan a los operadores de sistemas de transporte y distribución que publiquen normas técnicas en particular por lo que respecta a las normas de conexión a la red (requisitos en materia de calidad, olor y presión del gas) (artículo 16, epígrafe 10).

Directiva sobre gas natural

Directiva 2003/55/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de junio de 2003, sobre normas comunes para el mercado interior del gas natural.

Las normas establecidas en esta Directiva en relación el gas natural, también son aplicables al biogás y al gas obtenido a partir de la biomasa. Destaca que los estados miembros deben garantizar un acceso no discriminatorio a la red de gas para el biogás, el obtenido a partir de la biomasa u otros tipos de gas, con la condición de que dicho acceso sea permanentemente compatible con las normas técnicas pertinentes y las exigencias de seguridad.

3.4.2 España

Plan de Energías Renovables en España (2005-2010)

Plan que sustituye al Plan de Fomento de las Energías Renovables (1999-2010) manteniendo el mismo objetivo (alcanzar, en el año 2010, el que las fuentes de

energía renovables cubrieran como mínimo el 12% de la demanda total de energía primaria) pero asignando una distribución diferente de los esfuerzos por áreas, de manera que sea posible la consecución de dicho objetivo global en un marco en el que la demanda total se había visto incrementada en los años anteriores a su publicación por encima de las previsiones iniciales.

Real Decreto de producción eléctrica en régimen especial

RD 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial (BOE nº 126, 26 mayo 2007). Modificado por correcciones de errores publicadas en BOE de 25 y 26 de julio de 2007.

Sustituye al anterior RD 436/2004, aportando una nueva regulación a la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial, manteniendo la estructura básica.

Incluye una retribución especial por venta de la electricidad cuando el calor se vende en España, pero sólo para el caso de la cogeneración (CHP, alta eficiencia).

Tabla 3. Resumen de las tarifas actualizadas relativas a la energía eléctrica producida a partir de biogás agroindustrial (según RD 661/2007 y ORDEN ITC/3353/2010, de 29 de diciembre, por la que se revisan los peajes de acceso a partir de 1 de enero de 2011 y las tarifas y primas de las instalaciones del régimen especial)

Grupo	a.1.3) Cogeneración con biogás y/o biomasa (mínimo 90% de la energía primaria utilizada)				b.7) Instalaciones que utilicen como combustible principal biogás, estiércol y biocombustibles líquidos			
	b.7.2) Biogás generado en digestores							
Subgrupo	b.7.2) Biogás generado en digestores				b.7.2) Biogás generado en digestores			
	P≤500 kW		P>500 kW		P≤500 kW		P>500 kW	
Plazo	Primeros 15 años	A partir de entonces	Primeros 15 años	A partir de entonces	Primeros 15 años	A partir de entonces	Primeros 15 años	A partir de entonces
Tarifa regulada (c€/kWh)	14,4147	7,1803	10,7563	7,2337	14,1141	7,0306	10,4541	7,0306
Prima de referencia (c€/kWh)	11,3753	0	7,0735	0	11,0355	-	6,7241	-
Límite superior (c€/kWh)	-	-	-	-	16,5559	-	11,9121	-
Límite inferior (c€/kWh)	-	-	-	-	13,3376	-	10,3137	-

Otras disposiciones

Normativa relativa al registro de pre-asignación de retribución

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.

Esta normativa obliga a las instalaciones en régimen especial a que se inscriban en un registro de preasignación de retribución. Para inscribirse en este registro es necesario que se cumplan una serie de requisitos: disponer de la concesión de punto de acceso y conexión firme, disponer de autorización administrativa, disponer de licencia de obras y haber depositado el aval para solicitar el acceso a la red de transporte y distribución, entre otras.

Garantía del origen de la electricidad procedente de fuentes renovables

ORDEN ITC/1522/2007, de 24 de mayo, por la que se establece la regulación de la garantía del origen de la electricidad procedente de fuentes de energía renovables y de cogeneración de alta eficiencia.

Esta orden regula el sistema de garantía de origen de la electricidad generada que permita a los productores de electricidad que utilicen fuentes de energía renovables o cogeneración de alta eficiencia, demostrar que la electricidad que venden ha sido generada de acuerdo a tales principios.

Real Decreto sobre conexión y acceso a la red de distribución

RD 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.

Regula la conexión y el acceso a la red así como la distribución de la energía eléctrica. Esta regulación se aplica también a los sistemas que generan electricidad eléctrica a partir de fuentes renovables.

Fiscalidad aplicable a la producción de biogás (Impuestos sobre Hidrocarburos)

Se establece un tipo cero en el impuesto sobre hidrocarburos para el biogás destinado al uso como carburante en motores estacionarios. Este tipo cero en el IH para el biogás queda establecido en el epígrafe 2.13 de la tarifa segunda del artículo 50.1 de la Ley 38/1992 (exenciones en el artículo 51), de 28 de diciembre, de Impuestos Especiales (LIIEE) – BOE de 29 de diciembre –, modificado por el artículo 73 de la Ley 51/2007.

Normas sobre instalaciones de gas natural

RD 1434/2002, de 27 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de gas natural.

Modificaciones:

- El art. 43.2 a 7, por Real Decreto 1011/2009, de 19 de junio (Ref. 2009/10220).
- Los arts. 17 y 18.2.b), por Real Decreto 1766/2007, de 28 de diciembre (Ref. 2007/22455).
- Los arts. 29, 43, 44 y 53 y se añade el 30.bis, por Real Decreto 942/2005, de 29 de julio (Ref. 2005/13335).
- El art. 10.3, 47 y 48.2, por Real Decreto-Ley 5/2005, de 11 de marzo (Ref. 2005/04172).

Este Real Decreto regula la calidad de suministro del gas natural, que considera tanto la calidad del producto como la continuidad de suministro. Debido a que no existe una normativa especial que indique las características exigidas al gas natural de automoción, dichas características deberían a priori ajustarse a las propiedades que se exigen al suministro de gas natural para otros usos.

3.5 USO DEL DIGESTATO

3.5.1 Unión Europea

Entre las principales regulaciones a nivel europeo que afectan al digestato directa o indirectamente se encuentran el Reglamento 1774/2002 (subproductos de origen animal), la Directiva 2008/98/CE (Directiva Marco de residuos), la Directiva 99/31/CE (vertido de residuos), la Directiva 2000/54 (protección de los trabajadores contra riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos durante el trabajo) y la Directiva 91/676/CE (contaminación por nitratos).

Reglamento SANDACH nº 1069/2009

Refleja los parámetros en el producto final y digestatos de plantas de biogás que utilizan como sustratos subproductos de origen animal. En la primera tabla se muestran los requerimientos relativos al proceso de digestión que deben ser monitorizados por los operadores de plantas de biogás, mientras que en la segunda tabla se presentan las condiciones aplicables al estiércol, el estiércol transformado y los productos a base de estiércol transformado en el caso de su puesta en el mercado.

Tabla 4. Requerimientos de residuos de fermentación (R (CE) 1069/2009)

Residuos de la fermentación	Estándares que debe cumplir
Residuos de fermentación (durante o inmediatamente después del tratamiento en la planta de biogás)	<i>Escherichia coli</i> : n = 5; c = 1; m = 1.000; M = 5.000 en 1 g
	<i>Enterococcaceae</i> : n = 5; c = 1; m = 1.000; M = 5.000 en 1 g
Residuos de fermentación (durante o en el momento salida del almacén)	<i>Salmonella</i> : ausencia en 5 muestras de 25 g cada una (n = 5; c = 0; m = 0; M = 0)

Nota: n: número de muestras que deben analizarse; c: número de muestras cuyo contenido bacteriano puede estar entre m y M; 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.

Los *residuos de fermentación* (o digestato) y el compost que no cumplan las condiciones establecidas en la tabla anterior serán reprocesados; en caso de presencia de *Salmonella* serán tratados o eliminados conforme a las instrucciones de la autoridad competente¹.

Únicamente se permite producir abonos y enmiendas del suelo de origen orgánico a partir de materiales de categoría 2 y 3. Los residuos de fermentación procedentes de la transformación en biogás (digestato) pueden introducirse en el mercado y utilizarse como abonos y enmiendas del suelo de origen orgánico. Los requerimientos específicos se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 5. Requerimientos específicos del estiércol transformado para puesta en el mercado (Reglamento de implementación del Reglamento nº 1069/2009)

Producto	Requerimiento/Parámetro de producto
Estiércol transformado para su puesta en el mercado	Tratamiento térmico: mínimo 70 °C - 60 minutos o equivalente
	Tratamiento reducción de la presencia de bacterias esporuladas y toxígenas
	Almacenamiento tras transformación en silos cerrados y aislados o en bolsas de plástico o sacos bien cerrados, de modo que se minimice su contaminación o infección secundaria así como la humedad
Estiércol transformado para su puesta en el mercado (durante o inmediatamente después del tratamiento en la planta de biogás)	<i>Escherichia coli</i> : n = 5; c = 5; m = 0; M = 1.000 en 1 g
	<i>Enterococcaceae</i> : n = 5; c = 5; m = 0; M = 1.000 en 1 g
Estiércol transformado para su puesta en el mercado (durante o en el momento salida del almacén)	<i>Salmonella</i> : ausencia en 5 muestras de 25 g cada una (n = 5; c = 0; m = 0; M = 0)

El digestato que no cumpla estos requisitos debe ser considerado como “no procesado” y no puede ser puesto en el mercado.

¹Reglamento de implementación del Reglamento nº 1069/2009

Directiva de Nitratos

Directiva 91/676/CE, de 12 de diciembre de 1991, relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura.

Tiene por objeto proteger las aguas comunitarias contra los nitratos de origen agrario, que son la causa principal de la contaminación de las aguas desde fuentes difusas. Establece las cantidades máximas de nitrógeno aplicables por hectárea y año en el caso de zonas clasificadas como vulnerables, y se regula la aplicación tanto de fertilizantes orgánicos como inorgánicos.

Directiva de residuos

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.

En esta directiva se pide a la Comisión Europea que examine la pertinencia de establecer requisitos mínimos para la gestión de biorresiduos y criterios de calidad para el compost y el digestato procedentes de biorresiduos.

Reglamento sobre agricultura ecológica

Reglamento CEE nº 2092/91 del Consejo de la Unión Europea, de 24 de junio de 1991, sobre la producción agraria ecológica y su indicación en los productos agrarios y alimenticios, modificado por última vez por el Reglamento CE nº 2254/2004 de la Comisión de 27 de diciembre de 2004.

Entre los fertilizantes y enmiendas del suelo, se encuentra el grupo “residuos domésticos compostados o fermentados”. Entre los requisitos se encuentran: producto obtenido a partir de residuos domésticos separados en función de su origen sometido a un proceso de compostaje o a una fermentación anaeróbica para la producción de biogás, únicamente residuos domésticos vegetales y animales, únicamente cuando se produzcan en un sistema de recogida cerrado y vigilado, concentraciones máximas de metales pesados (cadmio, cobre, níquel, plomo, zinc, mercurio, cromo total, cromo VI), entre otras.

Para poder certificar el compost a partir de digestato y posteriormente poder utilizarlo en agricultura ecológica, se debe seguir el procedimiento especificado por la entidad de acreditación utilizada. En cualquier caso se debe completar un expediente que incluye una serie de documentos (registro de

fertilizantes o documentación que acredita la autorización de gestión de residuos ganaderos, protocolo de fabricación detallado de los productos, analíticas iniciales según el referencial, certificados de proveedor y garantía de origen de las materias primas) y posteriormente realizar una auditoría in situ.

Otra normativa relacionada

Directiva europea 2000/54/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 18 de septiembre, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos durante el trabajo.

Se hace referencia a los agentes infecciosos para los humanos presentes en los lodos residuales o en el estiércol líquido y los residuos orgánicos.

Propuesta de Directiva COM 232 de 22/09/2006, por la cual se establecerá un marco para la protección del suelo.

Será una herramienta legislativa que afectará a la gestión de materia orgánica reciclable a los suelos para mantener o aumentar su concentración.

3.5.2 España

Real Decreto de Nitratos

RD 261/1996, de 16 de febrero, sobre protección de las aguas contra la contaminación producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias.

Trasposición de la Directiva 91/676/CE relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos de origen agrícola, impone a los Estados miembros la obligación de identificar las aguas que se hallen afectadas por la contaminación por nitratos. Establece además criterios para designar como zonas vulnerables, aquellas superficies territoriales cuyo drenaje da lugar a la contaminación por nitratos. Señala las cantidades máximas de estiércol aplicadas al terreno: en zonas vulnerables se fija en 170 kg de nitrógeno/ha y año, aunque durante los primeros programas de actuación cuatrienal se podrá permitir llegar hasta los 210 kg N/ha y año.

Real Decreto de fertilizantes

RD 824/2005, de 8 de julio, sobre productos fertilizantes (y modificaciones).

Establece la normativa básica en materia de productos fertilizantes. Este Real Decreto se aplica sin perjuicio de las disposiciones del Reglamento

(CE) nº 1774/2002 y viceversa, la comercialización y utilización de fertilizantes y enmiendas del suelo orgánicos debe adaptarse a las disposiciones de este Real Decreto.

Define “residuo orgánico biodegradable”, como aquel residuo o subproducto de origen vegetal o animal utilizado como materia prima, cuya descripción se incluye en el Anexo IV, susceptible de transformarse por la acción de microorganismos aerobios o anaerobios y dar lugar a un tipo de enmienda orgánica. El Anexo IV “Lista de residuos orgánicos biodegradables” incluye los denominados “Licores (digestato) del tratamiento anaeróbico”, dentro de los “Residuos de tratamiento anaeróbico”.

Todavía no han sido establecidos criterios específicos de calidad exigibles a los digestatos para su consideración como productos en esta normativa pese a su potencial aptitud agronómica.

Real Decreto 324/2000, normas de ordenación explotaciones porcinas

Real Decreto 324/2000, de 3 de marzo, por el que se establecen normas básicas de ordenación de las explotaciones porcinas.

Su Artículo 5-1-B indica que la gestión de los estiércoles de las explotaciones porcinas podrá realizarse mediante la utilización de cualquiera de los siguientes procedimientos:

1. Valorización como abono órgano-mineral.
2. Tratamiento de estiércoles mediante compostaje, secado artificial y otros.
3. Eliminación de estiércoles mediante vertido.
4. Entrega a centros de gestión de estiércoles.

Para la utilización directa de los purines (opción 1) la normativa establece requisitos tales como disponer de balsas de estiércol con unas determinadas características, respetar en la distribución de estiércol sobre el terreno determinadas distancias mínimas o acreditar ante el órgano competente de la comunidad autónoma, que disponen de superficie agrícola suficiente, propia o concertada, para la utilización de los estiércoles como fertilizantes cumpliendo el Real Decreto 261/1996 el cual limita la cantidad máxima de estiércoles y discrimina entre zonas vulnerables y no vulnerables.

En relación con la valorización, la normativa indica que **se llevará a cabo individualmente por cada explotación. Se podrá realizar a través de**

un programa de gestión común para varias explotaciones (BANCO DE PURINES), previa autorización del órgano competente de la comunidad autónoma.

En cuanto a las actividades de valorización y eliminación de estiércoles por procesos de compostaje, secado artificial y otros similares (opción 2), estas se realizarán según lo establecido en los artículos 13 y 14 de la Ley 10/1998, de 21 de abril, de residuos.

4 Tecnologías

En el presente apartado se incluye una descripción de las fases de la digestión anaerobia y las tecnologías más importantes asociadas a la digestión anaerobia de residuos agroindustriales.

4.1 FASES DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA

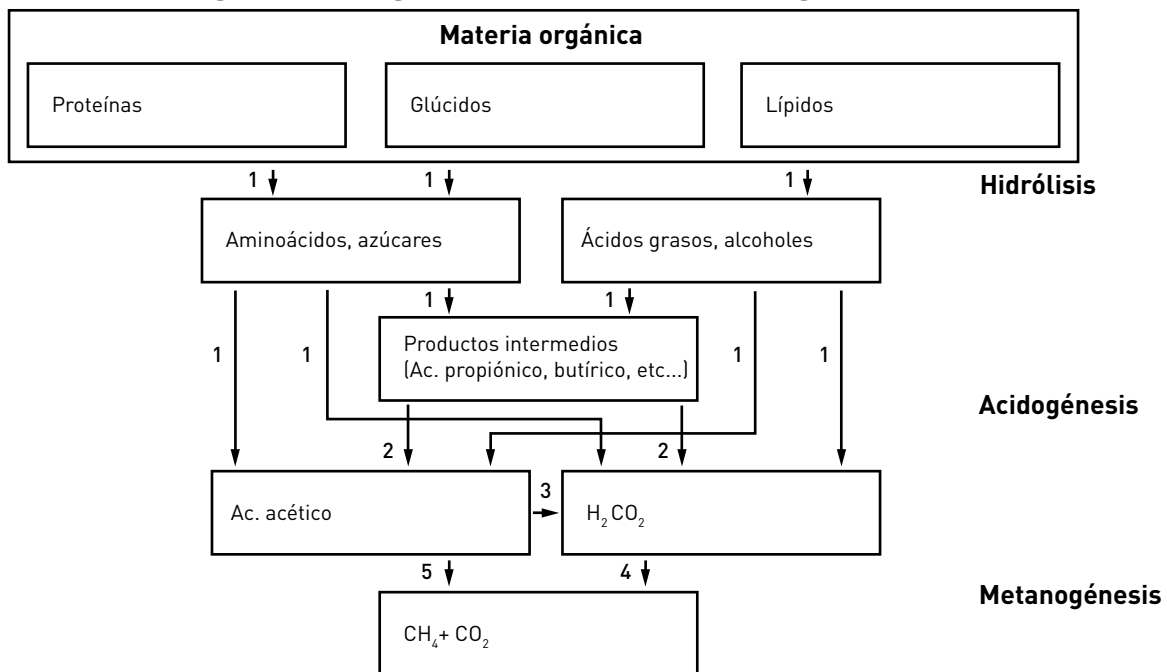
La digestión anaerobia está caracterizada por la existencia de varias fases consecutivas diferenciadas en el proceso de degradación del sustrato (término genérico para designar, en general, el alimento de los microorganismos), interviniendo 5 grandes poblaciones de microorganismos (Figura 3). Estas poblaciones se caracterizan por diferentes velocidades de crecimiento y diferente sensibilidad a cada compuesto intermedio como inhibidor (p.e., H₂, ácido acético o amoníaco producido en la acidogénesis de aminoácidos). Esto implica que cada etapa presentará diferentes velocidades de reacción según la composición del sustrato y que el desarrollo estable del proceso global requerirá de un equilibrio que evite la acumulación de compuestos intermedios inhibidores o la acumulación de ácidos grasos volátiles (AGV), que podría producir una bajada del pH. Para la estabilidad del pH es importante el equilibrio CO₂-bicarbonato.

Para hacer posible algunas reacciones es necesaria la asociación sintrófica entre bacterias acetogénicas y metanogénicas, creando agregados de bacterias de estas diferentes poblaciones.

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

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

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



Fuente: GIRO Centre Tecnològic

4.2 TECNOLOGÍAS DE PRETRATAMIENTO

El objetivo más habitual de los pretratamientos es aumentar la biodegradabilidad de los sustratos a digerir anaeróbicamente y de esta forma aumentar la producción de biogás y disminuir el tiempo de residencia. Estos dos efectos influyen de forma directa sobre el balance económico de la planta de biogás. Algunos pretratamientos permiten además obtener una mayor calidad higiénica en el digestato reduciendo riesgos para la salud humana o animal.

Las tecnologías de pretratamiento se pueden clasificar en mecánicas, térmicas, químicas y biológicas:

- **Pretratamientos mecánicos:** con esta tecnología se trata principalmente de reducir el tamaño de partícula, aumentando así la superficie específica del material, de manera que se consiga eventualmente una mayor solubilización de la materia orgánica y una mayor biodisponibilidad de la misma. Las tecnologías disponibles incluyen la maceración, trituración, homogeneización a alta presión, etc.
- **Pretratamientos térmicos:** el objetivo de los pretratamientos térmicos es doble. Por una parte, facilitar la degradación de algunas macromoléculas y solubilizar la materia orgánica (aumento de la biodisponibilidad) y por otra parte, y dependiendo de la temperatura y el tiempo, higienizar la materia orgánica para reducir o eliminar microorganismos indeseables. Existen diversas tecnologías que se diferencian en la forma de aplicar el calor; los pasteurizadores suelen aplicar el calor por conducción (recipientes encamisados por ejemplo), y otros métodos incluyen el uso de corrientes de vapor y/o de altas presiones.
- **Pretratamientos químicos:** al igual que en el caso de los tratamientos térmicos, el objetivo de los tratamientos químicos es romper las macromoléculas poco biodegradables mediante la adición de compuestos químicos tales como ácidos o bases fuertes, o mediante otros métodos como la ozonización. Los pretratamientos químicos también pueden tener otros objetivos, como el ajuste de pH en el caso de sustratos ácidos, o el aumento de la capacidad tampón.
- **Pretratamientos biológicos:** en este tipo de pretratamientos se consigue la degradación

de determinados compuestos mediante la inoculación con bacterias específicas o la adición de enzimas. El ensilado se considera también un pretratamiento biológico, ya que se trata de una fermentación ácido-láctica, aunque de tipo inespecífico. El objetivo principal del ensilado es la conservación del material, ya que normalmente se aplica a sustratos vegetales que se cosechan una o dos veces al año, aunque en algunos casos se consigue también un aumento de la productividad de biogás, puesto que en el proceso de ensilado se produce una hidrólisis de las macromoléculas.

En la actualidad se están estudiando nuevos pretratamientos como la aplicación de microondas o ultrasonidos, sobre todo para el tratamiento de residuos líquidos (lodos de depuradora, purines, etc.). El beneficio se obtiene a través de procesos de calentamiento y/o de cavitación a pequeña escala por la acción de las ondas.

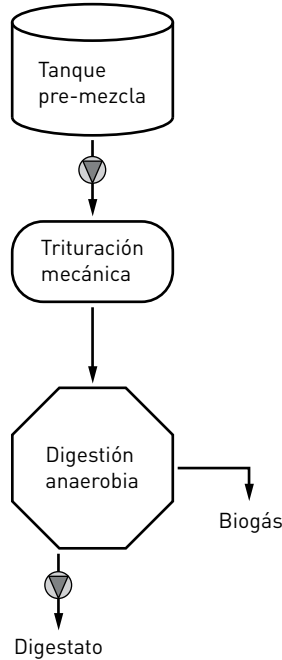
Generalmente, la aplicación de un pretratamiento lleva asociado un coste energético (electricidad para mover elementos mecánicos, calor para los pretratamientos térmicos, etc.) y un coste económico, tanto de inversión como de operación. El incremento en la producción de biogás y/o ahorro de coste de inversión debe ser suficiente como para compensar el balance energético y económico.

En las siguientes fichas de tecnologías de pretratamientos se incluyen las más utilizadas en plantas de biogás agroindustriales:

- Pretratamiento mecánico: trituración (reducción de tamaño).
- Pretratamientos térmicos: higienización, esterilización.
- Pretratamientos biológicos: ensilado.

Pretratamiento mecánico. Trituración

Diagrama de flujo



Descripción

Existen multitud de equipos comerciales en el mercado para la aplicación del pretratamiento de trituración mecánica. La mayoría se basan en un mecanismo de corte con cuchillas rotatorias, aunque también existen otros dispositivos.

Permite un incremento de la superficie específica disponible para las bacterias (aunque la relación no es lineal, conforme aumenta la superficie específica aumenta la producción de biogás) y una pérdida de la estructura de las fibras de los sustratos aprovechados.

Residuos más apropiados

En general, cualquier residuo con un tamaño de partícula superior a 5 cm es susceptible de ser pretratado mecánicamente, ya que una reducción de tamaño influirá positivamente en la producción de biogás. Como norma general, se recomienda alcanzar un tamaño de partícula entre 10-15 cm, y entre 2-4 cm para materiales lignocelulósicos. Este tratamiento es especialmente recomendable en el caso de residuos con alto contenido en fibra (celulosa y lignina) tales como plantas enteras, paja, etc.

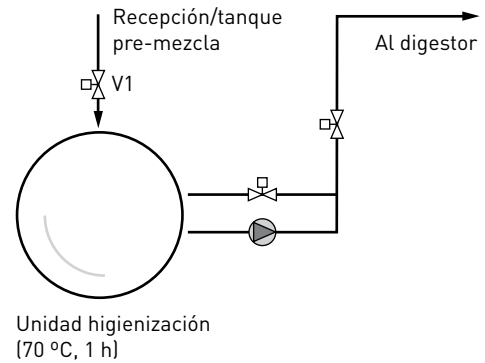
Rendimientos esperables

El rendimiento es variable en función del tipo de sustrato, la intensidad de la trituración, y los

co-sustratos utilizados. La mejora de la producción de biogás puede por tanto oscilar entre un 5 y un 30% (según bibliografía consultada).

Pretratamiento térmico. Pasteurización

Diagrama de flujo



Descripción

Suele aplicarse tras un pretratamiento de trituración del material. La temperatura mínima de todo el material en la unidad de higienización debe ser 70 °C y la permanencia mínima sin interrupción debe ser de 60 minutos. Normalmente se trata de recipientes cilíndricos verticales, calefactados con una corriente de agua caliente que puede proceder de la cogeneración.

Costes

Inversión aproximada para un caudal de 120 t/día: 175.000 € (referencia a modo de ejemplo).

Residuos más apropiados

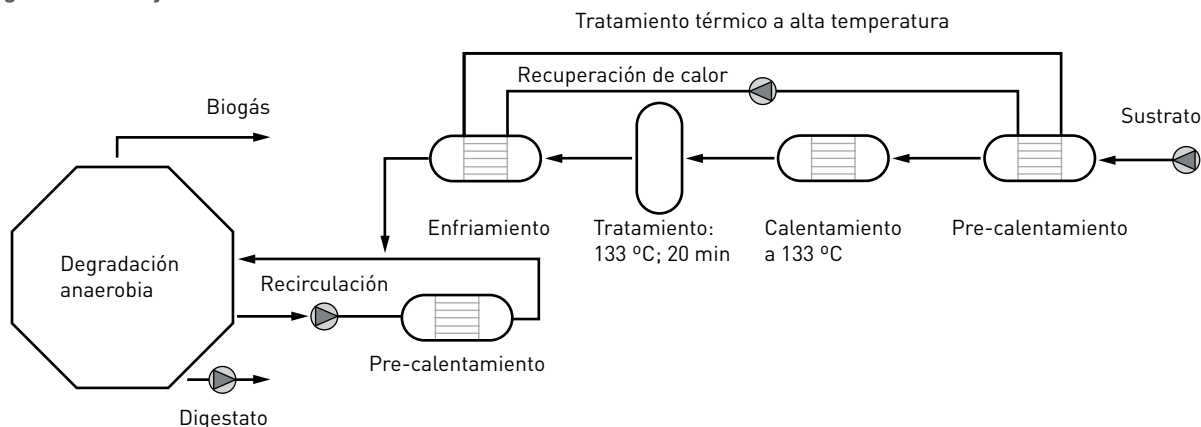
Subproductos de origen animal no destinados a consumo humano.

Rendimientos esperables

Dependiendo de la naturaleza del material, la higienización puede incrementar la producción de biogás. En el caso de algunos subproductos animales, se pueden dar producciones de biogás hasta cuatro veces superiores gracias al tratamiento de higienización (según bibliografía consultada). No obstante, si se aplica este pretratamiento a otro tipo de productos (vegetales, por ejemplo) se puede producir el efecto contrario, ya que la aplicación de temperatura puede degradar parcialmente la materia orgánica ya biodisponible y reducir el potencial de producción de biogás.

Pretratamiento térmico. Esterilización

Diagrama de flujo



Descripción

Tratamiento térmico a alta temperatura y presión (130 °C, 3 bar, 20 minutos; tras reducirlos a partículas no superiores a 50 mm). En una de las posibles configuraciones para aplicar este tratamiento (ver diagrama de flujo), el sustrato se precalienta, se lleva hasta la temperatura de 133 °C (se mantiene durante 20 minutos a esta temperatura y a una presión de 3 bar) y se enfría con el intercambiador de calor del digestor anaerobio. La recuperación de calor se consigue mediante la recirculación de agua entre el primer y el tercer intercambiador. La temperatura final se logra en el segundo intercambiador.

Costes

A modo de referencia, para un volumen anual de 5.000-10.000 t/año, el coste de equipo esterilización y pasteurización (incluye sistema enfriamiento) se encuentra en torno a 45.000 € (referencia a modo de ejemplo).

Residuos más apropiados

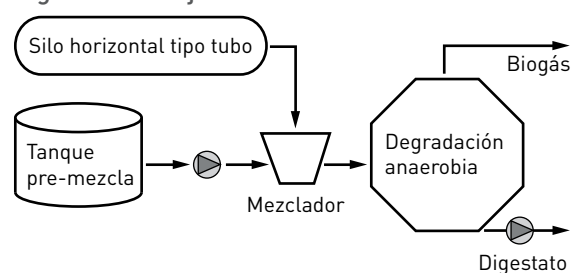
Subproductos de origen animal no destinados a consumo humano.

Rendimientos esperables

Al igual que en el caso de la pasteurización, es posible aumentar el rendimiento en el caso de algunos residuos, aunque el objetivo del tratamiento es el de esterilizar el material según lo establecido en el Reglamento SANDACH.

Pretratamiento biológico. Ensilado

Diagrama de flujo



Descripción

El ensilado es una técnica que se refiere al almacenamiento de material vegetal comprimido en condiciones de anaerobiosis, y que permite conservar este material a lo largo de todo el año. Para la conservación del material se aprovecha un proceso biológico durante el cual bacterias ácido lácticas rompen los azúcares y bajan el pH a un nivel que es inhibitorio para otras bacterias. Para un desarrollo óptimo del proceso es deseable que el contenido en sólidos totales del material sea inferior al 45% y una cantidad mínima en carbohidratos hidrosolubles del 8% (s.m.s.). Tanto una buena compactación del material como el mantenimiento de las condiciones de anaerobiosis son fundamentales para un ensilado adecuado del material.

Los silos pueden tener configuración horizontal o vertical, ambos son utilizados en las plantas de biogás agroindustrial. En los silos horizontales, en los que el material se almacena y se compacta sobre suelo hormigonado y entre dos paredes, y se recubre con materiales plásticos para promover condiciones de anaerobiosis en el interior.

Residuos más apropiados

El proceso de ensilado se aplica como tratamiento de conservación para cultivos energéticos y

sustratos similares (maíz, centeno, pratenses), ya que la cosecha se realiza una o dos veces al año y el material debe ser utilizado diariamente en la planta de biogás. Los sustratos deben cumplir una serie de requisitos para poder ser ensilados: 25-35% de ST, alto contenido en azúcares disponibles para las bacterias ácido-lácticas, y material sin gérmenes.

Rendimientos esperables

Como ya se ha indicado, el objetivo principal del ensilado es la conservación del material a lo largo de todo el año, independientemente del momento de la cosecha. En función del material, es posible conseguir aumentos del rendimiento (producción de biogás) entre un 5 y un 25% (según bibliografía consultada), aunque esto no se da en todos los casos.

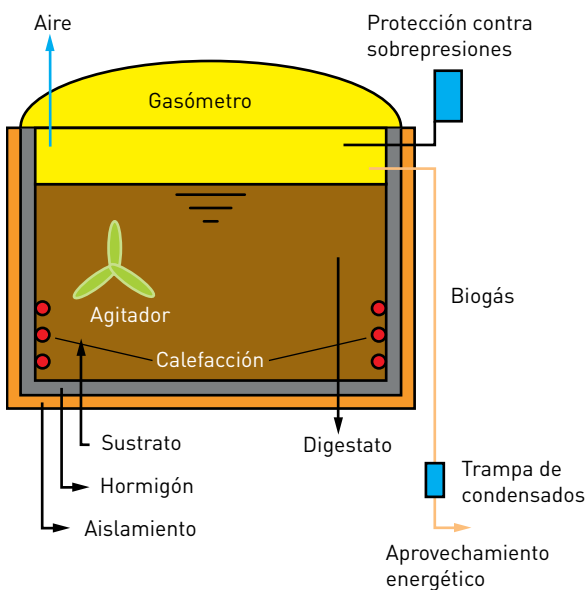
4.3 TECNOLOGÍAS DE DIGESTIÓN ANAEROBIA

En este apartado se describen las tecnologías más empleadas para la digestión anaerobia de residuos agroindustriales. Generalmente estas técnicas se clasifican en función del tipo de digestor (mezcla completa o flujo pistón), la temperatura de trabajo (mesofílico o termofílico) y el número de etapas (una o dos):

Digestores

Digestión anaerobia. Digestores. Mezcla completa

Diagrama de flujo



Descripción

La característica principal de este tipo de digestores es que la concentración de cualquier sustancia es parecida en todos los puntos del volumen de fermentación. Esta distribución uniforme de concentraciones, tanto de sustrato como de microorganismos, se logra mediante un sistema de agitación, que puede ser de muy diversos tipos (hélices o palas; horizontales, verticales u oblicuos; mecánicos o hidráulicos, etc.)

Es el tipo de digestor más sencillo en su concepción, y más ampliamente utilizado en las plantas de biogás agroindustrial en Europa. Se trata habitualmente de digestores cilíndricos verticales, construidos en hormigón o suelen predominar digestores con capacidad no superior a 2.500 m³ para mantener más fácilmente la homogeneidad de la biomasa así como la temperatura. La alimentación de sustrato al digestor puede ser continua, semicontinua o discontinua, aunque lo más habitual suele ser alimentación semicontinua (una o varias veces al día) o continua. Suele aplicarse a procesos de digestión por vía húmeda (menos del 10% de materia seca en el interior del fermentador). Asimismo, estos digestores pueden operar con recirculación.

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

Ventajas/inconvenientes

Ventajas: simplicidad, buen funcionamiento, coste reducido y versatilidad (operación en continuo o discontinuo).

Inconvenientes: el control del tiempo de retención hidráulico resulta más difícil que en digestor tipo flujo-pistón; riesgo de formación de costra; las operaciones de mantenimiento del sistema de agitación, y de la calefacción si es interna, requieren la completa evacuación del digestor.

Costes

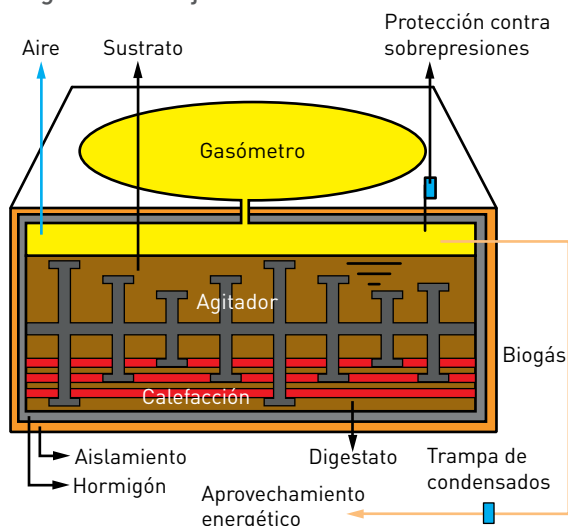
Según volumen y material. A modo de referencia, el coste de un digestor de mezcla completa suele suponer entre un 10-15% de los costes de inversión de la planta de biogás (referencia a modo de ejemplo).

Residuos más apropiados

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

Digestión anaerobia. Digestores. Flujo pistón

Diagrama de flujo



Descripción

La característica principal de los digestores de flujo pistón es que la concentración de cualquier sustancia varía en cada sección transversal del digestor. Se trata de digestores cilíndricos o paralelepípedicos contruidos en hormigón o acero (capacidad habitual de hasta 1.000 m³). La alimentación es continua o semicontinua, introduciéndose el material por un extremo y extrayéndose por el extremo contrario. Estos digestores suelen estar dotados de una agitación lenta (mezclado) mediante mezcladores de palas, que además tienen la función de favorecer el desplazamiento del material hacia la salida en el caso de digestores horizontales. También existen digestores de flujo pistón vertical; en estos casos, el mezclado puede realizarse de forma mecánica (palas) o hidráulica (inyección de biogás a presión en la base del digestor).

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

Ventajas/inconvenientes

Ventajas: menor riesgo de formación de costra que en mezcla completa; menor tiempo de retención

que en los reactores de mezcla completa y por tanto menor volumen; calefacción del digestor más eficaz debido al diseño sencillo y compacto que disminuye las pérdidas de calor respecto a una misma eficiencia en un digestor de mezcla completa.

Inconvenientes: mayor inversión por unidad de volumen que en el caso de los digestores de mezcla completa.

Costes

Según volumen y material. El coste de un digestor tipo flujo pistón supone alrededor de un 15-20% de los costes de inversión de la planta de biogás (referencia a modo de ejemplo). El mayor coste de este tipo de digestores respecto a los de mezcla completa suele compensarse por el menor volumen de digestor requerido y por la simplificación en el proceso de pretratamiento.

Residuos más apropiados

Esta tecnología es aplicable a cualquier mezcla de residuos, estando especialmente indicada cuando se prevé un contenido en ST elevado dentro del digestor (>15%). Admite mezclas de residuos con contenido en sólidos hasta 40%.

Temperatura

Digestión anaerobia. Temperatura. Rango mesofílico

Descripción

El rango óptimo de temperatura en régimen mesofílico se encuentra en torno a 35-40 °C y es aplicable a cualquier tipo de digestor. Es el rango más habitual en plantas de biogás individuales, ya que proporciona un proceso estable y con cierta tolerancia a pequeños cambios de temperatura.

Residuos más apropiados

Puede ser utilizado cualquier tipo de sustrato agroindustrial.

Rendimientos esperables

Depende de los sustratos utilizados.

Digestión anaerobia. Temperatura. Rango termofílico

Descripción

El rango óptimo de temperatura en régimen termofílico se encuentra entre 55-60 °C y es aplicable a cualquier tipo de digestor. Se obtienen mayores producciones de biogás por m³ de digestor para un mismo tiempo de retención al comparar con el

régimen mesofílico. Con el aumento de la temperatura se aumenta la tasa de hidrólisis, la velocidad de crecimiento de las bacterias y con ello la velocidad en la producción de biogás. La biocenosis que se desarrolla suele ser más sensible y existe un mayor riesgo de inhibición por amonio que en el caso del rango mesofílico. Por ello, se requiere un mayor control y seguimiento. La operación en rango termofílico proporciona buenos resultados de higienización. También produce una disminución de la viscosidad, lo que puede permitir un menor consumo energético para bombeo y agitación.

Residuos más apropiados

En general, cualquier residuo que no tenga un elevado contenido en nitrógeno (se debe evitar la utilización de sustratos tales como la gallinaza). Es especialmente recomendable para residuos que requieren altos tiempos de retención (lignocelulósicos), ya que el proceso termofílico reduce este parámetro y la rentabilidad mejora debido a una menor inversión.

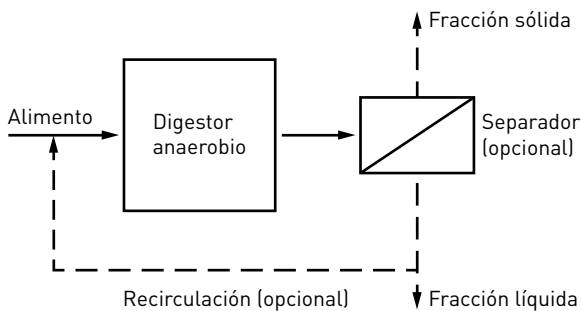
Rendimientos esperables

Depende de los sustratos utilizados. En general, se consiguen menores tiempos de residencia que en el caso del rango mesofílico.

Número de etapas

Digestión anaerobia. Número de etapas. Una etapa

Diagrama de flujo



Descripción

La digestión anaerobia tiene lugar en un solo digestor. Las cuatro fases de la digestión anaerobia (hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis) suceden en el mismo recipiente. Dado que las condiciones óptimas para cada fase son distintas en cuanto a pH, temperatura, potencial redox, etc., se llega a una solución de compromiso.

Puede incorporar opcionalmente una corriente de recirculación. Normalmente se implementa una

separación sólido-líquido a la salida, recirculando la fase líquida para facilitar el bombeo del material de entrada.

Residuos más apropiados

Residuos con tiempos de retención medios-bajos (30 días aprox. o menos).

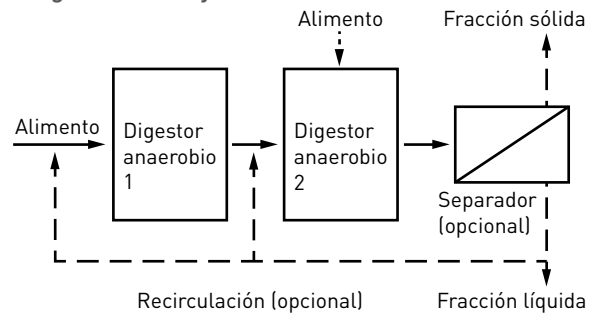
Ventajas/inconvenientes

Ventajas: sencillez en la construcción, facilidad de manejo, menores costes de operación (menos necesidad de bombes).

Inconvenientes: no se puede operar en el óptimo de cada una de las fases del proceso microbiológico de la digestión anaerobia.

Digestión anaerobia. Número de etapas. Dos etapas

Diagrama de flujo



Descripción

La digestión anaerobia tiene lugar en dos digestores en serie (proceso en dos etapas). Este sistema permite llegar a separar las fases de la digestión anaerobia, de forma que en el primer digestor se llevaría a cabo mayoritariamente la hidrólisis, y en el segundo la metanogénesis. De esta forma, se pueden tener condiciones distintas de pH, temperatura, redox, etc. en ambos digestores y trabajar en el óptimo de cada proceso microbiológico, y trabajar con separación de fases.

El sistema es versátil en cuanto a las corrientes de alimento y recirculación, tal y como se muestra en el diagrama de flujo. La configuración seleccionada dependerá de los sustratos utilizados. Así, si se precisa diluir la materia seca a la entrada, se recirculará la fracción líquida. O si uno de los co-sustratos presenta una biodegradación muy rápida, con una fase de hidrólisis muy corta, se puede alimentar directamente al segundo digestor.

Residuos más apropiados

Residuos con tiempos de retención medios-altos (50 días aprox. o más).

Ventajas/inconvenientes

Ventajas: se puede operar en el óptimo de cada una de las fases del proceso microbiológico de la digestión anaerobia.

Inconvenientes: mayor inversión y costes de operación que en el sistema de una sola etapa.

4.4 TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO DEL DIGESTATO

Las operaciones de tratamiento del digestato están directamente relacionadas con la viabilidad económica de las plantas de biogás:

a) Acondicionamiento físico (separación sólido-líquido): el objetivo es facilitar el manejo en campo del material resultante. El contenido

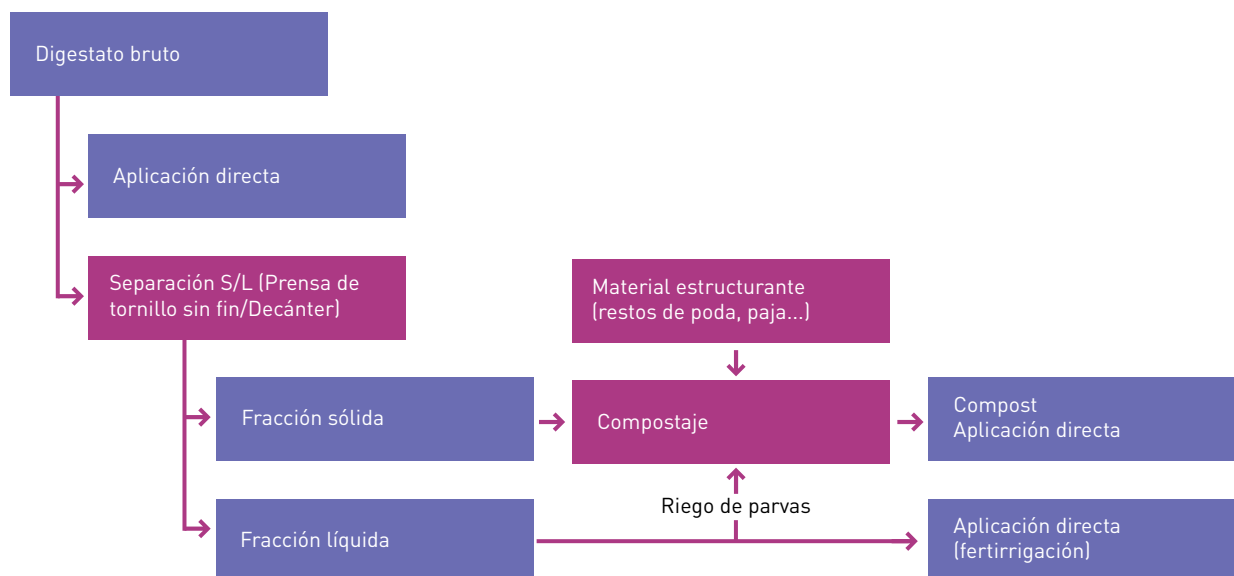
en nutrientes permanece constante, aunque el reparto entre las fases es distinto, quedando el nitrógeno principalmente en la fase líquida y el fósforo y el potasio en la fase sólida.

b) Recuperación de nutrientes (por ejemplo, precipitación, *stripping*): en este caso, se desea recuperar el nutriente extraído para valorizarlo separadamente. El material restante se puede utilizar igualmente en la agricultura, y tendrá una menor concentración en nutrientes, conservando la materia orgánica.

c) Eliminación de nutrientes (por ejemplo, nitrificación-desnitrificación): el objetivo es reducir la concentración de los macronutrientes (principalmente nitrógeno) cuando existe una problemática en su aplicación al campo por exceso de nitrógeno, asociada generalmente a zonas donde se da una elevada concentración ganadera y/o vulnerabilidad a la contaminación por nitratos.

Post-Tratamiento (Digestato). Acondicionamiento – Separación S-L

Diagrama de flujo



Descripción

Proceso de acondicionamiento aplicable al digestato bruto que genera dos fracciones distintas: una sólida y una líquida. La concentración de sólidos totales (ST) presentes en cada una de las fracciones es diferente según la tecnología implementada, siendo muy utilizados los sistemas de tornillo prensa y centrífuga. Proceso previo recomendado ante cualquier estrategia de acondicionamiento del digestato a emprender.

Costes (referencia a modo de ejemplo)

Tornillo-prensa: 20.000 – 50.000 €

Centrífuga: 150.000 – 250.000 €

Fracción del digestato sobre la que se aplica

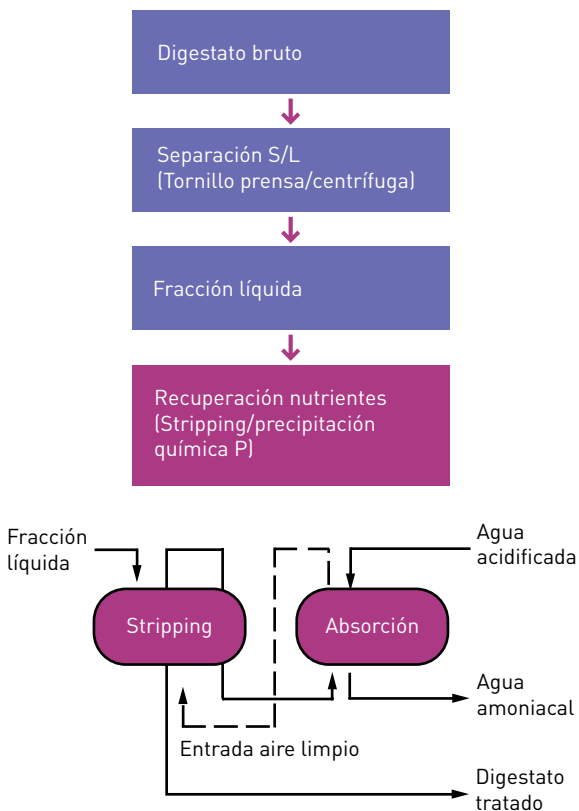
Digestato bruto.

Rendimientos esperables

	Tornillo prensa	Centrífuga
Fracción sólida	20-30 % ST	20-25 % ST
Fracción líquida	aprox. 5% ST	1-3% ST

**Post-Tratamiento (Digestato).
Recuperación. Stripping**

Diagrama de flujo



Descripción

El proceso de stripping se basa en la volatilización del amoníaco contenido en la fracción líquida del digestato, haciendo circular aire a contracorriente (columna de desorción). El amoníaco y otros compuestos volátiles que han sido arrastrados con la corriente de aire, pasan posteriormente en la columna de absorción a formar parte de una corriente líquida acidificada (generalmente con H₂SO₄), obteniendo un líquido con una alta concentración de amoníaco.

Como resultado de la aplicación de este proceso, se obtiene agua amoniacal o una sal de amonio (sulfato de amonio, por ejemplo) que puede ser cristalizada y valorizada separadamente, y la fracción líquida de digestato con una concentración reducida de nitrógeno amoniacal.

Costes (referencia a modo de ejemplo)

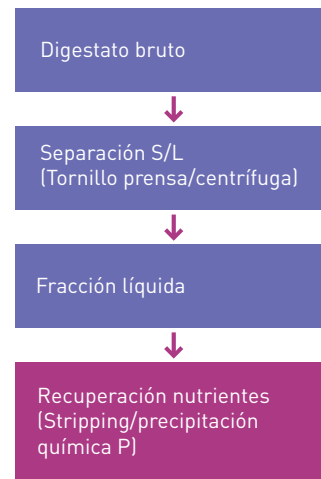
Inversión aproximada: 75.000 – 100.000 €.

Fracción del digestato sobre la que se aplica

Fracción líquida del digestato.

**Post-Tratamiento (Digestato).
Recuperación. Precipitación**

Diagrama de flujo



Descripción

El proceso consiste en la co-precipitación del nitrógeno amoniacal y fósforo ortofosfórico contenido en el digestato mediante la adición de óxido de magnesio, formando una sal llamada estruvita (fosfato amónico magnésico hexahidratado), valorizable en la formulación de fertilizantes minerales. El equipamiento requerido es un depósito agitado provisto de dosificación de reactivos y extracción de sólidos en la parte inferior.

Costes

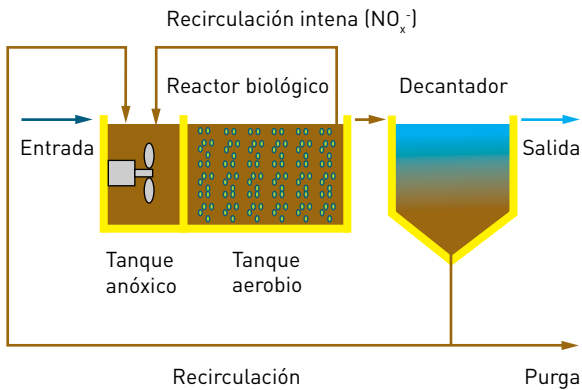
El coste principal es el reactivo utilizado (óxido de magnesio u otros). El coste del óxido de magnesio (pureza del 99,99%) se sitúa en torno a 9-15 €/gMgO (referencia de coste a modo de ejemplo).

Fracción del digestato sobre la que se aplica

Fracción líquida.

Post-Tratamiento (Digestato). Eliminación – NDN

Diagrama de flujo



Descripción

El tratamiento de nitrificación-desnitrificación (NDN) permite la eliminación biológica de nitrógeno, transformando el nitrógeno amoniacal a nitrógeno gas, que se emite a la atmósfera. Este proceso tiene lugar en dos etapas:

Nitrificación (proceso aerobio): el amonio se oxida a nitrito y éste a nitrato.

Desnitrificación (proceso anóxico): el nitrato se reduce a nitrógeno gas.

El proceso requiere de una alternancia entre condiciones aerobias y anóxicas. Para conseguir esta alternancia existen varias alternativas tecnológicas:

Sistema discontinuo SBR (Sequencing Batch Reactor): un único reactor cuya operación está basada en una secuencia de tratamiento (ciclo) que se repite a lo largo del tiempo. Las etapas de que consta un ciclo son: llenado, reacción (etapas anóxicas/aerobia), decantación, vaciado y espera.

Sistemas continuos: cuentan con dos reactores (un reactor aerobio y otro anóxico), y un decantador final para permitir la separación de los fangos biológicos del líquido tratado (sistema representado en el diagrama de flujo).

Costes

Inversión: 330.000 €; explotación: 60.000 €/año (costes para una instalación tipo que trate 1 m³/h de digestato). Referencia de costes a modo de ejemplo.

Fracción del digestato sobre la que se aplica

Fracción líquida del digestato (requiere una separación previa de fases).

5 Situación actual en la Unión Europea y en España

5.1 LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN EUROPA

En el informe elaborado por *L'Observatoire des Energies Renouvelables* (EurObserv'ER, 2008) se estimaba que en el año 2007 se produjeron en Europa 5,9 millones de tep procedentes de biogás. Estudios posteriores de EurObserv'ER (2009), muestran para este año un valor superior, de 7,5 millones de tep. En la Tabla 6 se indica la producción de cada país durante el año 2006 y el estimado durante 2008, puede observarse que durante este período la producción total se incrementó un 54% (47,5% de incremento entre 2006 y 2007; 4,4% entre 2007 y 2008), siendo la energía producida en plantas descentralizadas de tratamiento de residuos agropecuarios, de residuos municipales y centralizadas de codigestión la que presentó un aumento más significativo en el periodo 2006-2008 (*Barometer on the estate of renewable energies in Europe*, 2009).

A partir del año 2006, Alemania se ha puesto a la cabeza de Europa en la producción de energía vía biogás, básicamente por la gran actividad en la implantación de pequeñas plantas descentralizadas de tratamiento de residuos agropecuarios con producción de energía eléctrica y aprovechamiento de energía térmica mediante cogeneración (Tabla 7). No obstante, durante el periodo 2007-2008 se produjo un estancamiento en el crecimiento del biogás agroindustrial en este país, debido a que durante

2008 se preveía una revisión de los incentivos económicos aplicables a la producción de energía a partir de fuentes renovables. La nueva normativa (EEG, 2009) ha permitido superar este estancamiento y a finales de 2009, Alemania contaba ya con 4.671 plantas y una potencia instalada de 1.724 MWel. La estimación para 2010 es de 5.800 plantas y una potencia instalada de 2.300 MW (FNR, 2010).

Hasta el año 2005, el país que se encontraba a la cabeza de la producción en Europa era Gran Bretaña, básicamente por la recuperación de biogás de vertederos, siendo el país más activo en este campo, debido al sistema de certificación de energía renovable: *Renewable Obligation Certificate (ROC)*. Actualmente ocupa la primera posición respecto a la producción de energía primaria de biogás de vertedero pero ha sido superado por Alemania tanto en términos totales de energía primaria de biogás como en producción bruta de electricidad procedente de biogás. En la Tabla 8 se indica la producción de electricidad, procedente de biogás, introducida en la red eléctrica de cada país.

En tercera posición en la producción de energía eléctrica se encuentra Italia, la cual ha aumentado en un 10% de 2007 a 2008 (en torno a un 5% de incremento en términos de energía primaria). En el sistema italiano, los productores e importadores de energía tienen la obligación de suministrar un mínimo de energía con certificado verde, siendo aceptada como tal la energía procedente de biogás de residuos vegetales y orgánicos.

Tabla 6. Producción total de biogás, en unidades de energía primaria (ktep), en la Unión Europea en 2006-2008* (elaborado a partir de *Barometer on the estate of renewable energies in Europe*, 2009; EurObserv'ER, 2007-2008)

	2006	2007	2008*	Incremento 2007-2008 (%)	Incremento 2006-2008 (%)
Alemania	1.665,3	3.659,1	3.675,8	0,5	120,7
Reino Unido	1.498,5	1.584,4	1.637,1	3,3	9,2
Francia	298,1	418,9	452	7,9	51,6
Italia	383,2	387,9	410	5,7	7,0
Austria	118,1	216,9	232,4	7,1	96,8
Países Bajos	141,1	176,5	225,7	27,9	60,0
España	319,7	192,4	203,2	5,6	-36,4

(Continuación)

	2006	2007	2008*	Incremento 2007-2008 (%)	Incremento 2006-2008 (%)
Polonia	62,4	64,7	131,7	103,6	111,1
Suecia	27,1	96,5	103	6,7	280,1
Dinamarca	92,9	93,5	93,8	0,3	1,0
República Checa	63,4	76,2	90	18,1	42,0
Bélgica	77,6	79,5	87,6	10,2	12,9
Finlandia	36,5	41,7	45	7,9	23,3
Irlanda	32,3	33,5	35,4	5,7	9,6
Grecia	29,8	35,3	34,4	-2,5	15,4
Portugal	9,2	15,3	23	50,3	150,0
Eslovenia	8,4	11,9	14,1	18,5	67,9
Hungría	12,2	6,7	11,1	65,7	-9,0
Luxemburgo	9,2	9,1	10,9	19,8	18,5
Eslovaquia	7,7	7,5	10,3	37,3	33,8
Letonia	-	7,5	8,8	17,3	-
Lituania	2	2,5	3	20,0	50,0
Estonia	4,2	4,2	2,8	-33,3	-33,3
Rumania	-	1,3	0,6	-53,8	-
Chipre	0	0,2	0,2	0,0	-
EU	4.898,9	7.223,5	7.542,1	4,4	54,0

***Valores estimados**

Francia, como España, no tiene todavía establecido un mercado de plantas de biogás en el sector primario. Para incentivar este mercado, en julio de 2006 se aprobaron nuevas tarifas en Francia. También se han simplificado los trámites para la conexión de los productores a la red eléctrica. En términos de energía primaria de biogás, se han colocado por delante de Italia, si bien, en torno al 84% de esta energía provenía de la recuperación de vertederos en el año 2008 y sólo un 6% pertenece al grupo "otros biogases" (Tabla 7).

Respecto a la situación de España, nuestro país ocupaba en 2007 el sexto lugar en la producción de energía primaria de biogás en Europa, siendo desplazada por los Países Bajos en 2008. La situación en nuestro país se amplía en el apartado 5.2.

Tanto Austria como los Países Bajos, han experimentado un notable crecimiento durante los años 2006 y 2008, siendo el biogás procedente de unidades descentralizadas el que más ha contribuido en dicho crecimiento.

Tabla 7. Producción de biogás, en unidades de energía primaria (ktep), en la Unión Europea en 2007 y 2008* (Barometer on the estate of renewable energies in Europe, 2009)

	2007				2008*			
	Vertedero	EDAR ¹	Otros ²	Total	Vertedero	EDAR	Otros	Total
Alemania	346,3	386,9	2.925,9	3.659,1	343,9	394,1	2.937,8	3.675,8
Reino Unido	1.393,1	191,3	0,0	1.584,4	1.416,9	220,2	0,0	1.637,1
Francia	338,5	51,8	28,6	418,9	379,3	44,2	28,5	452,0
Italia	314,7	2,1	71,1	387,9	324,7	4,2	81,1	410,0
Austria	4,8	5,8	206,3	216,9	4,8	4,8	222,8	232,4
Países Bajos	48,4	47,7	79,9	176,5	44,4	48,9	132,5	225,7
España	116,1	49,1	27,3	192,4	157,0	19,7	26,6	203,2
Polonia	21,0	43,0	0,6	64,7	34,2	95,0	2,6	131,7
Suecia	24,9	52,5	19,1	96,5	23,0	57,3	22,8	103,0
Dinamarca	7,2	20,7	65,6	93,5	6,4	20,2	67,2	93,8
República Checa	31,0	31,1	14,1	76,2	29,4	33,7	27,0	90,0
Bélgica	48,9	4,1	26,4	79,5	46,7	7,5	33,4	87,6
Finlandia	27,6	12,3	1,8	41,7	30,7	11,9	2,4	45,0
Irlanda	23,9	7,9	1,7	33,5	25,9	8,1	1,4	35,4
Grecia	29,6	5,4	0,3	35,3	28,3	5,9	0,2	34,4
Portugal	0,0	0,0	15,8	15,8	0,0	0,0	23,0	23,0
Eslovenia	7,6	0,6	3,8	11,9	8,2	3,1	2,7	14,1
Hungría	2,1	1,3	3,4	6,7	2,4	1,7	7,0	11,1
Luxemburgo	0,0	0,0	9,1	9,1	0,0	0,0	10,9	10,9
Eslovaquia	0,2	6,8	0,5	7,5	0,2	9,5	0,6	10,3
Letonia	5,4	2,2	0,0	7,5	6,6	2,2	0,0	8,8
Lituania	0,0	1,6	0,8	2,5	0,4	1,7	0,9	3,0

(Continuación)

	2007				2008*			
	Vertedero	EDAR ¹	Otros ²	Total	Vertedero	EDAR	Otros	Total
Estonia	2,8	1,4	0,0	4,2	2,0	0,9	0,0	2,8
Rumanía	0,0	0,0	1,3	1,3	0,0	0,0	0,6	0,6
Chipre	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0	0,0	0,2	0,2
Total EU	2.794,5	925,3	3.503,5	7.223,5	2.915,3	994,7	3.632,1	7.542,1

¹Depuradoras urbanas e industriales²Unidades descentralizadas de biogás en el sector agropecuario, unidades de metanización de residuos sólidos urbanos y unidades centralizadas de co-digestión

*Valores estimados

Respecto a la producción eléctrica, Alemania y Reino Unido, producen el 68% de la energía eléctrica obtenida a partir de biogás, mientras que el resto de países europeos generan el 32% (Tabla 8). En el caso de España, la electricidad total generada supone en torno al 3% del total europeo.

Tabla 8. Producción de electricidad (GWh) procedente de biogás en la Unión Europea en 2007 y 2008* (Barometer on the estate of renewable energies in Europe, 2009)

País	2007			2008*		
	Centrales eléctricas	Centrales funcionando en cogeneración	Electricidad total	Centrales eléctricas	Centrales de cogeneración	Electricidad total
Alemania	7.219,2	1.132,1	8.351,3	7.175,8	1.142,0	8.317,8
Reino Unido	4.728,1	445,3	5.173,4	4.848,0	474,7	5.322,7
Italia	1.159,5	287,8	1.447,3	1.290,8	308,7	1.599,5
Austria	789,1	42,3	831,4	926,2	42,6	968,7
Países Bajos	100,6	410,4	511,0	82,7	650,0	732,7
Francia	538,4	87,0	625,4	594,4	88,1	682,5
España	274,0	334,0	608,0	540,5	44,0	584,5
Bélgica	170,4	173,5	343,9	174,3	163,0	337,2
República Checa	70,1	145,1	215,2	63,2	203,7	266,9
Dinamarca	1,7	269,6	271,3	1,2	246,9	248,1
Polonia	195,2	0,6	195,8	246,6	0,0	246,6

(Continuación)

País	2007			2008*		
	Centrales eléctricas	Centrales funcionando en cogeneración	Electricidad total	Centrales eléctricas	Centrales de cogeneración	Electricidad total
Grecia	160,0	23,4	183,4	171,0	20,4	191,4
Irlanda	101,9	16,9	118,8	110,5	16,8	127,3
Portugal	58,0	7,4	65,4	63,3	8,1	71,4
Eslovenia	8,9	39,2	48,2	9,7	39,0	48,7
Hungría	0,0	27,8	27,8	0,0	47,0	47,0
Letonia	0,7	36,2	36,9	2,3	37,3	39,6
Luxemburgo	0,0	36,6	36,6	0,0	38,5	38,5
Suecia	0,0	64,0	64,0	0,0	30,3	30,3
Finlandia	0,7	28,6	29,3	0,4	29,1	29,5
Eslovaquia	0,0	11,0	11,0	0,0	14,0	14,0
Estonia	12,4	0,0	12,4	9,3	0,0	9,3
Lituania	0,0	5,2	5,2	0,0	9,1	9,1
Chipre	0,0	1,4	1,4	0,0	1,4	1,4
Total UE	15.589,1	3.625,3	19.214,4	16.310,2	3.654,7	19.964,7

***Valores estimados**

En términos de energía primaria de biogás *per cápita* destaca Austria en segundo lugar, este país ocupaba el lugar decimoprimer en 2005 (EurObserv'ER) pero ha experimentado un crecimiento espectacular durante los últimos años, en particular, entre 2006 y 2008 dicha producción se incrementó en torno a un 96%.

También destacable es el caso de Dinamarca, donde la producción energética de biogás procede en su mayoría de plantas centralizadas. A pesar de que en términos absolutos de energía producida Dinamarca ocupa el décimo lugar en Europa, es el quinto en energía producida de biogás *per cápita* (Tabla 9).

En Dinamarca, la producción energética de biogás procede de plantas centralizadas de codigestión y pequeñas plantas descentralizadas en granjas (71%), del aprovechamiento de biogás de vertederos (7%) y de digestores tratando lodos de depuración (22%). La gestión centralizada de residuos orgánicos y codigestión de deyecciones ganaderas e industriales ha sido una de las grandes aportaciones de Dinamarca en este sector, así como el desarrollo de la cogeneración con biogás y el máximo aprovechamiento de la electricidad y energía térmica producida.

Tabla 9. Producción estimada de energía primaria de biogás per cápita (tep/1.000 habitantes) en 2007 y 2008 (elaborado a partir de Barometer on the estate of renewable energies in Europe, 2009; Eurostat, 2009)

Orden 2007	País	2007 (tep/1.000 hab)	Orden 2008	País	2008 (tep/1.000 hab)
1º	Alemania	29,0	1º	Alemania	44,7
2º	Reino Unido	26,7	2º	Austria	27,9
3º	Luxemburgo	21,0	3º	Reino Unido	26,8
4º	Dinamarca	18,0	4º	Luxemburgo	22,5
5º	Austria	16,8	5º	Dinamarca	17,1
6º	Países Bajos	10,6	6º	Países Bajos	13,8
7º	Irlanda	7,8	7º	Suecia	11,2
8º	República Checa	7,6	8º	República Checa	8,7
9º	Bélgica	7,4	9º	Finlandia	8,5
10º	España	7,4	10º	Bélgica	8,2
11º	Finlandia	6,9	11º	Irlanda	8,0
12º	Italia	6,9	12º	Francia	7,1
13º	Eslovenia	5,9	13º	Eslovenia	7,0
14º	Francia	4,9	14º	Italia	6,9
15º	Grecia	4,3	15º	España	4,5
16º	Estonia	3,1	16º	Letonia	3,9
17º	Suecia	3,0	17º	Polonia	3,5
18º	Hungría	2,0	18º	Grecia	3,1
19º	Polonia	1,6	19º	Portugal	2,2
20º	Eslovaquia	1,6	20º	Estonia	2,1
21º	Portugal	1,5	21º	Eslovaquia	1,9
22º	Lituania	0,7	22º	Hungría	1,1
23º	Chipre	0,2	23º	Lituania	0,9

(Continuación)

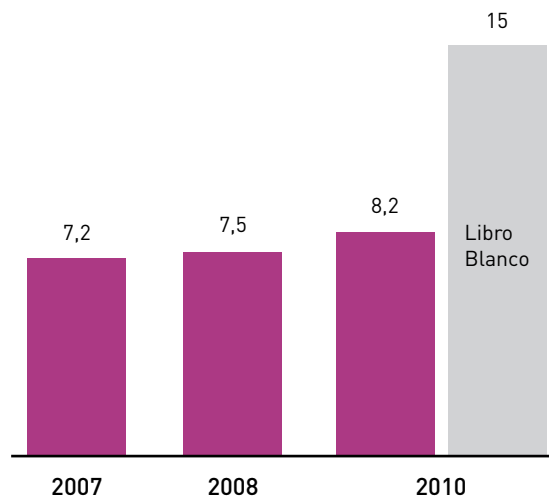
Orden 2007	País	2007 (tep/1.000 hab)	Orden 2008	País	2008 (tep/1.000 hab)
			24º	Chipre	0,3
			25º	Rumanía	0,0
EU		11,9			15,2

La actividad de las empresas y los marcos de actuación creados en países como Alemania, Dinamarca, Suecia o Austria ilustran el camino a seguir por el resto de países de la Unión Europea.

Por otra parte, la tendencia observada para 2010 para el conjunto de la Unión Europea es de 8,2 Mtep (*Barometer on the estate of renewable energies in Europe, 2009*), y, si se compara la tendencia actual con los objetivos del libro blanco para 2010 (15 Mtep), se alcanzará en torno al 54% del objetivo marcado.

Figura 4. Tendencia de la producción de energía primaria a partir de biogás en la Unión Europea (Barometer on the estate of renewable energies in Europe, 2009)

Comparación de la tendencia actual con los objetivos del Libro Blanco



Fuente: EurObserv'ER 2009

Un reciente estudio realizado por la *European Biomass Association* (AEBIOM) proporciona, para el horizonte 2020, unos resultados de 39,5 Mtep en relación con el potencial de biogás de la Unión Europea (UE-27). En la Figura 5 se presenta un resumen de las estimaciones de dicho estudio. En particular, los subproductos/residuos orgánicos de origen industrial suponen en torno al 20% del potencial total en 2020, mientras que los subproductos/residuos de origen agrícola, cultivos agrícolas y subproductos agrícolas, se sitúan en torno al 80%.

Figura 5. Esquema de la realización del potencial de biogás a nivel europeo (AEBIOM, 2009)

Origen	Potencial total (10 ¹² m ³ biometano)	Porcentaje uso hasta 2020	Energía primaria (10 ¹² m ³ biometano)	Energía primaria (Mtep)
Cultivos agrícolas para uso energético ¹	27,2	100	27,2	23,4
Subproductos agrícolas ²	31,7	28	9,2	7,9
Residuos municipales ³ (incl. biorresiduos) y biogás de vertedero	10,0	40	4,0	3,4
Fracción biodegradable de residuos industriales ⁴	3,0	50	1,5	1,3
Lodos	6,0	66	4,0	3,4
Total	77,9	59	45,9	39,5

¹Cultivos destinados a la generación de energía

²Paja, estiércoles, residuos mantenimiento del paisaje

³Residuos de jardines, residuos de cocina de hogares, restaurantes, cantinas y venta al por menor, y residuos similares de la industria alimentaria

⁴Fracción biodegradable de los residuos industriales (incluye papel, cartón, pallets)

5.2 LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN ESPAÑA

Según el informe elaborado por EurObserv'ER en 2009 (*Barometer on the estate of renewable energies in Europe, 2009*), España ocupaba en 2008 el decimoquinto lugar en la producción *per cápita* de energía primaria de biogás en Europa, siendo el origen más importante la recuperación de biogás de vertederos. A continuación se realiza un somero repaso de la evolución del biogás en España y se resume la situación actual.

Inicio años 80 y situación actual

A principios de la década de los 80, se favoreció la instalación de plantas de biogás en el sector ganadero, mediante una línea de subvenciones iniciada

por el IRYDA durante 1981 y 1982. Unos años más tarde, se llevó a cabo un seguimiento de instalaciones y se pusieron de manifiesto deficiencias en algunas de estas plantas. Entre las principales causas de estas deficiencias, se encontraban diseños no adecuados a las condiciones de campo españolas así como un mantenimiento y operación no realizados de forma óptima.

Esta situación, así como una baja retribución por la venta de energía eléctrica a partir de biogás, ocasionaron el estancamiento del biogás agroindustrial en España. La mayoría de plantas quedaron progresivamente fuera de servicio, y la producción de biogás agroindustrial ha sido prácticamente testimonial desde entonces.

En el caso de otros tipos de biogás, esta situación no se ha producido, debido a que la retribución del biogás de depuradoras o vertederos cuenta con un

sistema propio de financiación a través de tarifas específicas de tratamiento de aguas o de residuos municipales.

En términos de energía primaria de biogás, nuestro país ocupaba en 2008 el séptimo lugar en la producción en Europa. Casi el 78% del biogás procede de vertedero mientras que sólo un 13% procede de unidades descentralizadas de digestor agrícola, unidades de metanización de desechos municipales sólidos o unidades centralizadas de codigestión.

Planes de fomento del biogás

El principal aprovechamiento del biogás en España es la producción de energía eléctrica. En términos de energía eléctrica vertida a la red, la procedente de biogás de vertedero y depuradoras supone aproximadamente el 90%, mientras que el biogás agroindustrial se encuentra en torno al 9%. Por ello, puede afirmarse que actualmente el biogás agroindustrial supone un porcentaje muy bajo, respecto al biogás recuperado en vertederos.

Tabla 10. Energía vertida a la red, datos hasta 31 mayo 2009 (CNE, 2009)

Categoría	Combustible	Energía (GWh)		Δ (2008 /2007)	Energía (ktep)		Porcentaje relativo
		2007	2008	%	2007	2008	%
Renovables en régimen especial (Peninsular)	Biogás de vertedero	510,1	491,4	-3,7	44,0	42,4	83,99
	Biogás de residuos agrícolas o de jardinería: herbáceos	54,8	54,9	0,2	4,7	4,7	9,38
	Biogás de depuradoras	38,3	35,7	-6,8	3,3	3,1	6,10
	Biogás de RSU (unidades de metanización de residuos sólidos urbanos)	0,1	0,1	45,1	0,0	0,0	0,02
Renovables en régimen especial (Canarias)	Biogás de vertedero		3		0,0	0,3	0,51
Total		603,3	585,1		52,0	50,4	100

Datos obtenidos de la declaración de las empresas distribuidoras hasta 31 de mayo de 2009, en relación con la energía vertida a la red por las instalaciones de régimen especial durante el ejercicio 2008, según la tecnología utilizada, y la variación sufrida en relación con el ejercicio anterior.

Planes de fomento

Entre los planes de fomento de la década pasada, el Plan de Fomento de las Energías Renovables (PFER) planteaba unos objetivos de producción de biogás que podían ser cumplidos únicamente con el aprovechamiento del biogás de vertederos y de instalaciones de tratamiento de residuos municipales.

El objetivo fijado por el PER 2005-2010 establecía para el área del biogás un incremento de la potencia instalada durante 2005-2010 de 94 MW, con una producción de electricidad asociada a ese incremento que asciende en 2010 a **592 GWh**.

En el último Plan de Acción Nacional de Energías Renovables de España (2011-2020), ya publicado y que se remitió en junio de 2010 a la Comisión

Europea, se recoge la estimación de la contribución total (capacidad instalada, generación bruta de electricidad) previsible de cada tecnología de energía renovable en España para el cumplimiento de los objetivos vinculantes para 2020.

En el caso del biogás, se prevé pasar en 2005 de 152 MW a 400 MW en 2020. La estimación que hace el PANER de energía eléctrica bruta para 2010 supera a la planteada en el PER 2005-2010.

Tabla 11. Estimación de la contribución total (capacidad instalada, generación bruta de electricidad) previsible para el biogás en España (PANER 2011-2020)

	2005		2015		2020	
	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh
Biogás	152	623	220	1.302	400	2.617

La evolución prevista para el **biogás agroindustrial** está citada de forma explícita por el PANER 2011-2020, y se estima que podrá suponer **más del 50% del total del biogás en el año 2020**.

Por otra parte, entre los planes desarrollados durante los últimos años en materia de biogás, destaca el **Plan de biodigestión de purines (2009-2012)**. (Ver apartado 3.3.2).

Este plan estatal persigue fomentar los procesos técnicos de metanización de purines para la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. Dichas ayudas se suman además, a la tarifa eléctrica del RD 661/2007. Por ello, este plan puede jugar un papel muy importante en el desarrollo del sector del biogás agroindustrial en España.

Sistema de primas en la producción eléctrica

A nivel nacional, la generación eléctrica se estructura en dos grandes grupos, el régimen ordinario y el régimen especial. Las instalaciones de producción de energía eléctrica en régimen especial deben tener potencia instalada igual o inferior a 50 MW y estar en alguno de los siguientes grupos:

- Instalaciones que utilicen cogeneración y otras formas de producción de energía eléctrica asociadas a la electricidad, con un rendimiento energético elevado.
- Instalaciones que utilicen energías renovables no consumibles, biomasa, biocombustibles, etc.
- Instalaciones que utilicen residuos urbanos u otros residuos.
- Instalaciones de tratamiento y reducción de residuos agrícolas, ganaderos y servicios.

El régimen ordinario incluye al resto de centrales productoras.

Las instalaciones del régimen especial pueden ceder su energía excedentaria a la empresa distribuidora más cercana que tiene la obligación de adquirirla siempre que sea técnicamente viable. **El precio de venta de esta energía se fija en función de las tarifas eléctricas, dependiendo de la potencia instalada y del tipo de instalación** (CNE, 2010).

El sistema de tarifas y primas a la producción de electricidad mediante fuentes renovables garantiza a los titulares de instalaciones en régimen especial una retribución económica razonable a las inversiones realizadas y busca al mismo tiempo incentivar la participación en el mercado. El titular tiene dos opciones: vender a tarifa regulada, única para todo el período de programación, o bien vender la energía al mercado y obtener, en este caso, el precio negociado en el mercado más una prima. En este último caso existen unos límites inferiores y superiores para la suma del precio horario del mercado diario más la prima de referencia, de este modo la prima a cada hora queda acotada en función de estos valores.

Los grupos correspondientes al biogás son el a.1.3 y el b.7. El primero hace referencia a la cogeneración con biogás y/o biomasa (mínimo 90% de la energía primaria debe ser utilizada) mientras que el segundo a las instalaciones que utilizan como combustible principal biogás, estiércol y biocombustibles líquidos.

En la Tabla 3, en el epígrafe 3.4.2. se incluye una tabla resumen con el régimen económico actualizado a 2010 para estos grupos, según el RD 661/2007 y la ORDEN ITC/3519/2009, de 28 de diciembre, por

al que se revisan los peajes de acceso a partir de 1 de enero de 2010 y las tarifas y primas de las tarifas y primas de las instalaciones del régimen especial. Esta retribución se revisa generalmente con una periodicidad anual.

Evolución de la retribución

El régimen especial viene siendo regulado en España desde 1980, año en el que se elaboró la Ley 82/1980 de Conservación de la Energía, donde se establecían los objetivos de mejora de la eficiencia

energética de la industria y de reducción de la dependencia de las importaciones. En este contexto, la Ley 40/94 dejó consolidado el concepto de régimen especial como tal, y basándose en los principios de esta ley, se publicó el RD 2366/1994.

En la Tabla 12 se resume la evolución de la tarifa desde 1994 hasta el momento actual. A partir de 2007, existe una retribución diferente según se trate de plantas con una potencia superior a 500 kW o inferior; en la tabla se ha reflejado únicamente la tarifa durante los primeros 15 años de las plantas con potencia inferior o igual a 500 kW, del grupo b.7.2.

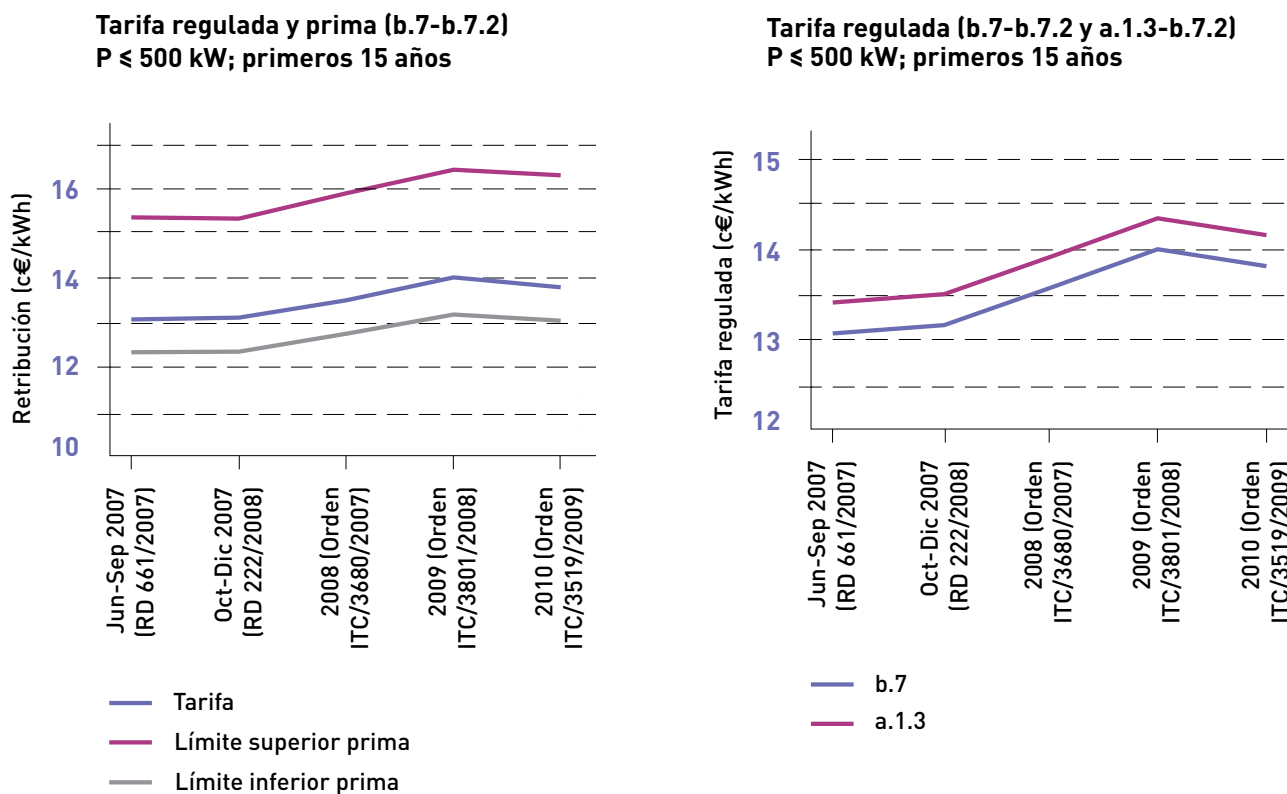
Tabla 12. Evolución de la retribución económica

Año	Normativa	Tarifa (pts/kWh)	Tarifa (c€/kWh)	Incremento relativo (%)	Incremento absoluto a partir de 1995 (%)	Incremento absoluto a partir de 2007 (%)
1995	RD 2366/1994	10,11	6,0700	-	-	-
1999	RD 2818/1998	10,46	6,2800	3,3	3,3	-
2005	RD 436/2004	10,96	6,5900	4,7	7,9	-
Jun-sep 2007	RD 661/2007	-	13,0690	49,6	53,6	0,0
Oct-dic 2007	RD 222/2008					
2008	Orden ITC/3680/2007	-	13,5068	3,2	55,1	3,2
2009	Orden ITC/3801/2008	-	13,9533	3,2	56,5	6,3
2010	Orden ITC/3519/2009	-	13,8262	-0,9	56,1	5,5

Entre las iniciativas legales, destaca el Real Decreto 661/2007, el cual buscó dinamizar el mercado del biogás agroindustrial y mejoró notablemente la retribución económica del aprovechamiento del biogás para la producción eléctrica. El incremento relativo de la tarifa regulada del 2007 respecto al 2004 fue de casi el 50% en términos relativos y del 54% en términos absolutos. Este incremento fue muy superior al que se produjo en otros periodos anteriores o posteriores a 2007. Así pues, entre los años 1995 y 1999, 1999 y 2005 o 2007 y 2009, el incremento no ha superado en ningún caso el 5% en términos relativos o el 8% en términos absolutos.

No obstante, la retribución de la energía eléctrica producida mediante el aprovechamiento del biogás agroindustrial en España ha seguido una evolución creciente desde 2007 hasta 2009, reduciéndose ligeramente durante 2010 respecto 2009. En la siguiente figura se presenta la evolución para las plantas con una potencia inferior a 500 kW, durante los primeros 15 años de explotación. En la segunda gráfica se comparan los dos grupos incluidos a partir del RD 661/2007: *a.1.3) Cogeneración con biogás y/o biomasa (mínimo 90% de la energía primaria utilizada)* y *b.7) Instalaciones que utilicen como combustible principal biogás, estiércol y biocombustibles líquidos*.

Figura 6. Evolución de las tarifas y primas en plantas de biogás en España



El incremento desde 2007 hasta 2010, tanto para las tarifas reguladas como para los límites inferior y superior de la prima (venta en el mercado organizado de la electricidad), ha sido del 6%. Para cada año en concreto, la diferencia entre tarifa regulada y límite superior es del orden del 17%, mientras que la diferencia entre la tarifa regulada y el límite inferior es del orden del 6%.

6 Potenciales

6.1 BIOGÁS DE FORSU Y BIOGÁS DE VERTEDERO

A continuación se comentan brevemente algunas particularidades de los tipos de biogás considerados en dicho estudio.

- Biogás de FORSU. Para el cálculo del potencial, se ha partido de la estimación de generación de residuos en el año 2020 y se ha determinado cuánto biogás podría obtenerse a partir de su contenido en materia orgánica (44% en peso). En cuanto al potencial accesible, se ha considerado que la digestión anaerobia de la fracción orgánica de los RSU (FORSU) es solo operativa si se ha realizado una separación en origen, dado que en caso contrario el alto contenido en impropios suele conducir a múltiples problemas de operación que impedirían funcionar a la instalación durante las horas estimadas (7.200 horas/año). Además, se han tenido en consideración los objetivos de recogida selectiva de biorresiduos recogidos en el borrador de Anteproyecto de Ley de residuos y suelos contaminados (40% biorresiduos recogidos de forma separada en 2020). Por último, el criterio para obtener el potencial disponible ha sido considerar otros usos alternativos, como la producción de compost.
- Biogás de vertedero. La legislación comunitaria (Directiva 1999/31 y Directiva 2008/98) y sus transposiciones a la normativa española, están encaminadas hacia la reducción progresiva de los residuos biodegradables que se depositan en vertederos, fijando el objetivo de que en 2016 la cantidad de residuos biodegradables en vertedero sea, como máximo, el 35% de la cantidad de residuos biodegradables generados en 1995. Esta tendencia legislativa condiciona fuertemente el potencial de este tipo de biogás. Para el cálculo del potencial total, se ha tenido en cuenta el contenido biodegradable en los RSU generados en el año 2020. Para el potencial accesible, se ha adoptado el criterio conservador de suponer que los objetivos del RD 1481/2001 se prolongan desde 2016 a 2020. Y, finalmente, para establecer el potencial disponible, se ha considerado que según la jerarquía de gestión de residuos, las operaciones de eliminación son las que menos prioridad tienen, por lo que deben anteponerse otras opciones de gestión que aporten mayor valor añadido, como el reciclado o la valorización energética de residuos.

Los resultados a nivel nacional para ambos tipos de biogás se encuentran en el apartado 6.4 del presente trabajo.

6.2 BIOGÁS DE EDAR

6.2.1 Documentación base de trabajo y métodos

Documentación base de trabajo

- INE. Instituto Nacional de Estadística. *Encuesta sobre generación de residuos en el sector industrial 2004*. <<http://www.ine.es/inebase/cgi/um?M=%2Ft26%2Fe068%2Fp02%2Fa2004&O=paxis&N=&L=0>> [Consulta: junio 2007].
- MMA. Ministerio de Medio Ambiente. *Memoria "Medio Ambiente en España 2004"* <http://www.mma.es/secciones/info_estadistica_ambiental/estadisticas_info/memorias/2004/pdf/3_3_1_2004.pdf>
- *Registro General de Lodos del MAPA*, mayo 2007.

Métodos

1. Estimación del potencial de metano por residuo

Unidades: la primera estimación de potenciales máximos se realiza en tep/año, en base a 8.600 kcal/m³ CH₄ (PCI).

2. Lodos de depuración de plantas depuradoras municipales

La información relativa a lodos de depuración de plantas depuradoras municipales viene en unidades de toneladas de materia seca/año, en el Registro Nacional de lodos de depuración del MAPA. Se considera un contenido medio del 70% de sólidos volátiles y una producción de metano de 0,3 m³ CH₄/kg SV.

El Registro Nacional de lodos clasifica estos según cuatro destinos actuales: vertedero, incineración, uso agrícola y otros (sin especificar). Se considera que todos los lodos con uso agrícola son susceptibles de producción de biogás, y los lodos con destino a vertedero o a incineración se considera que tienen una composición que puede hacer difícil su reciclado, y por tanto con posibles problemas de toxicidad. Se considera que de estos puede ser posible una digestión anaerobia de hasta el 50% de la

producción actual. No se hacen hipótesis sobre otros destinos y no se valora su potencial energético.

6.2.2 Potencial de producción de biogás del sector lodos de estaciones depuradoras en España

La estimación del potencial energético se ha realizado por comunidades autónomas. En las estimaciones siguientes, se considera el potencial como el valor de la producción energética vía biogás que se obtiene mediante una descomposición parcial del residuo orgánico.

Sector lodos de plantas de depuración de aguas residuales urbanas

La estimación del potencial energético de biogás de los lodos de plantas depuradoras de aguas

residuales urbanas se muestra en la Tabla 13. Se consideran lodos potencialmente utilizables para producción de biogás los que actualmente tienen un uso agrícola, y que podrían ser susceptibles de codigestión con otros residuos que presenten este fin, y el 50% de los que actualmente van a vertedero e incineración. La reducción de la materia orgánica entrada a vertederos, según la Directiva Europea al respecto, propiciará a corto plazo sistemas de reducción del contenido orgánico, siendo la digestión anaerobia uno de los posibles y favorables a la reducción de emisiones de CO₂.

Síntesis. Potencial total y potencial accesible

Se estima que el potencial total no es accesible en todos los casos, esto es, es un potencial máximo solamente realizable con el tratamiento del 100% de la materia prima. Se considera accesible aquel que puede ser objeto de gestión y tratamiento mediante digestión anaerobia. Para los lodos de plantas depuradoras urbanas se considera accesible el 75%.

Tabla 13. Estimación del potencial total de producción de energía primaria de biogás de lodos de plantas depuradoras de aguas urbanas

	Producción (t/año) ¹	Lodos potencialmente utilizables (t/año)	Producción potencial máxima de CH ₄ (m ³ /año)	Potencial energético (ktep/año)
Andalucía	94.129	81.092	17.029.215	14,6
Aragón	31.309	20.610	4.327.995	3,7
Asturias	2.229	1.809	379.785	0,3
Baleares	55.705	53.287	11.190.270	9,6
Canarias	15.240	6.744	1.416.240	1,2
Cantabria	7.733	3.974	834.540	0,7
Castilla-La Mancha	42.482	34.003	7.140.525	6,1
Castilla y León	46.346	42.296	8.882.055	7,6
Cataluña	310.025	193.286	40.589.955	34,9
C. Valenciana	242.826	212.907	44.710.470	38,5
Extremadura	9.430	7.772	1.632.120	1,4

(Continuación)

	Producción (t/año) ¹	Lodos potencialmente utilizables (t/año)	Producción potencial máxima de CH ₄ (m ³ /año)	Potencial energético (ktep/año)
Galicia	41.116	30.696	6.446.055	5,5
Madrid	261.357	189.872	39.873.120	34,3
Murcia	2.731	1.867	392.070	0,3
Navarra	9.886	9.547	2.004.870	1,7
País Vasco	24.391	13.056	2.741.760	2,4
La Rioja	7.018	6.998	1.469.475	1,3
Ceuta y Melilla	1.460	730	153.300	0,1
Total	1.205.413	910.542	191.213.820	164,4

6.3 BIOGÁS AGROINDUSTRIAL

Este apartado recoge los principales resultados del análisis del potencial de biogás agroindustrial en España (ktep/año) obtenido a partir del potencial de recursos o materias primas (t/año).

6.3.1 Introducción

El estudio realizado por ainia centro tecnológico sobre la **Situación actual y potencial de generación de biogás a partir de residuos agroalimentarios en España** integra los resultados de potencial de biogás agroindustrial en España obtenidos en el proyecto PROBIOGAS con los resultados de potencial derivado de los residuos procedentes de las actividades HORECA (hoteles, restaurantes y servicios de catering) y de la gran distribución alimentaria (supermercados e hipermercados).

Los resultados de potencial de biogás agroindustrial incluidos en el presente estudio proceden de la digestión anaerobia de los residuos/subproductos orgánicos de los siguientes ámbitos:

- Industria alimentaria.
- Ganadería.
- Plantas de biocombustibles líquidos.
- Gran distribución.
- Bares, hoteles y restaurantes.

6.3.2 Síntesis de la terminología

A efectos de clarificar terminología, conviene definir los conceptos de potencial total, accesible y disponible empleados. A continuación se indican las definiciones de "potencial":

- El **potencial "total"** se deriva de materias primas que técnicamente pueden ser objeto de co-digestión anaerobia para la producción de biogás.
- El **potencial "accesible"** es la parte del potencial total que puede ser objeto de gestión (recogida, transporte y almacenamiento).

Se descartan por tanto materiales cuya recogida y transporte hasta una planta de biogás resulta casi imposible.

En el estudio realizado por PROBIOGAS, el potencial accesible se determinó reduciendo en torno al 50% del potencial total por la imposibilidad de gestionar las deyecciones procedentes de la ganadería extensiva. Estas fueron calculadas estimando densidades de corte (ej. 2 cabezas/ha en bovino).

- El potencial **"disponible"** es la parte del potencial accesible una vez descontado el que se destina a usos alternativos.

Por ejemplo, un determinado subproducto puede ser gestionado y tratado por co-digestión anaerobia para la producción de biogás, pero se puede

emplear para otros usos como la alimentación animal (piensos), la elaboración de abonos y fertilizantes orgánicos, la recuperación de compuestos de valor, etc. Por tanto, pese a estar accesible sólo estaría parcialmente disponible.

El análisis de disponibilidad para cada tipo de residuo y área geográfica entraña una gran complejidad ya que la cantidad de usos alternativos para cada materia prima puede ser muy elevada.

Las causas por las que un subproducto puede destinarse finalmente a la producción de biogás pueden atender a tendencias de legislación medio ambiental, sanitaria, o de otra índole, costes de la energía, marco tarifario incentivador, a la ausencia de un mercado o usuarios en las proximidades del lugar de generación, bajos precios por grandes volúmenes de excedentes, etc.

PROBIOGAS determinó una serie de porcentajes de minoración para cada tipo de materia prima

y zona geográfica tomando en consideración los principales usos alternativos en cada caso. Estos análisis han permitido determinar el potencial disponible.

6.3.3 Síntesis de la metodología y resultados del potencial de los residuos/subproductos de la IAA

Los residuos de las industrias alimentarias se han dividido en dos grandes grupos en función de su origen: animal o vegetal. La jerarquía seguida para clasificar los distintos sustratos o subproductos/residuos ha sido de más general a menos, o más específica:

Tipo > Categoría > Subcategoría

Tabla 14. Clasificación de residuos de IAA según PROBIOGAS (octubre, 2009)

Tipo	Categoría	
Alimentarios de origen animal (An)	An1	Subproductos cárnicos
	An2	Subproductos lácteos
	An3	Subproductos de pescado
Alimentarios de origen vegetal (Ve)	Ve1	Subproductos hortofrutícolas excedentes
	Ve2	Subproductos hortofrutícolas no conformes
	Ve3	Subproductos de transformación de productos hortofrutícolas
	Ve4*	Paja de cereal
	Ve5	Lodos EDARI – transformados vegetales

*Esta categoría no ha sido tenido en cuenta en el análisis de potencial de biogás

Nota: El grupo de residuos de la industria alimentaria incluye también los residuos vegetales procedentes de la agricultura (centrales hortofrutícolas, cooperativas, etc.). Se trata de materiales de origen vegetal que corresponden a las mermas por baja calidad o productos no conformes para su uso comercial, así como excedentes de producción agrícola que se desea retirar del mercado (retiradas). Se han integrado en el grupo para facilitar la cuantificación. En adelante denominaremos “industrias alimentarias” a ambas actividades.

El desglose de categorías en subcategorías se puede consultar en la página web del proyecto PROBIOGAS, en la sección de “Informes y Documentos”.

La metodología para la estimación de los residuos procedentes de la industria alimentaria ha sido distinta en función del tipo de subproductos. Para cada subcategoría se han determinado unos coeficientes específicos de generación (t_{residuos}/t_x),

expresados en función de diferentes *productos o unidades monetarias* (tx = t canal, etc). Estos coeficientes han sido posteriormente aplicados y han permitido obtener la cantidad de residuo generada para cada comarca (t/año). Para poder aplicar los coeficientes de generación, se ha requerido utilizar diferentes bases de datos (DUNS, Alimarket, etc.) para la localización de las empresas alimentarias y la estimación de la producción de las mismas.

Para el cálculo del potencial de producción de biogás en España se han determinado potenciales medios estimados de biogás de cada materia prima o agrupación de materias primas (Nm³ biogás/t o NI biogás/kg). Los datos se han obtenido de forma experimental (ensayos batch) en el marco de PROBIO-GAS, o bien proceden de referencias bibliográficas de calidad. Para el cálculo del potencial no se multiplican directamente los potenciales medios estimados ya que estos suponen el potencial "máximo". Se han

aplicado potenciales medios minorados considerando una operación en continuo donde la tasa de biodegradación de los sólidos volátiles suele ser menor.

Para la conversión del potencial energético obtenido en metros cúbicos por año por residuo y por provincia (Nm³ de CH₄/año; Nm³: volumen referido a condiciones estándar, esto es, a 0 °C y 1 bar de presión) a kilotoneladas equivalentes de petróleo por año (ktep/año), se ha considerado un Poder Calorífico Inferior (PCI) del CH₄ de 9,96 kWh/Nm³ CH₄. Asimismo, se ha aplicado la equivalencia 1 kWh = 8,6·10⁻⁵ tep.

Resultados industria alimentaria

En la tabla mostrada a continuación, se presentan los resultados de la cuantificación de materias primas de origen agroindustrial cuya procedencia es la industria alimentaria.

Tabla 15. Estimación de los potenciales accesibles de biogás (ktep/año) de residuos de la IIAA

CCAA	Alim. de origen animal (t/año)	Alim. de origen vegetal (t/año)	Total IIAA (t/año)	Alim. de origen animal (ktep/año)	Alim. de origen vegetal (ktep/año)	Total IIAA (ktep/año)
Galicia	888.862	119.999	1.008.861	24,8	4,94	29,7
P. de Asturias	202.044	18.462	220.506	4,8	0,86	5,7
Cantabria	140.811	1.422	142.233	4,3	0,06	4,4
País Vasco	97.142	22.303	119.445	3,3	0,72	4,0
Navarra	163.348	118.971	282.319	2,8	4,01	6,8
La Rioja	22.663	83.838	106.501	0,5	2,44	2,9
Aragón	222.858	166.669	389.527	3,4	5,08	8,4
Cataluña	1.113.754	489.337	1.603.090	20,0	18,22	38,2
Baleares	241.894	25.589	267.483	5,7	1,19	6,9
Castilla y León	1.334.293	478.307	1.812.600	28,6	14,79	43,4
Madrid	573.589	86.737	660.327	13,0	3,40	16,5
Castilla-La Mancha	656.790	997.556	1.654.346	14,9	24,38	39,3
C. Valenciana	350.191	804.426	1.154.618	6,3	41,28	47,6

(Continuación)

CCAA	Alim. de origen animal (t/año)	Alim. de origen vegetal (t/año)	Total IIAA (t/año)	Alim. de origen animal (ktep/año)	Alim. de origen vegetal (ktep/año)	Total IIAA (ktep/año)
R. de Murcia	165.212	417.392	582.604	3,5	18,63	22,1
Extremadura	87.235	496.771	584.006	1,8	14,42	16,2
Andalucía	550.486	4.820.741	5.371.227	10,3	58,31	68,6
Canarias	102.257	94.115	196.372	2,2	4,54	6,8
España	6.913.934*	9.242.634	16.156.568*	150,2	217,26	367,5

*Incluye Ceuta (residuos de origen animal, lácteos: 502,8 t/año)

6.3.4 Síntesis de la metodología y resultados del potencial de los residuos/subproductos de ganadería

De forma resumida, la metodología seguida para la estimación de las deyecciones ganaderas en PRO-BIOGAS se basa en la utilización de coeficientes de generación según especie, edad fisiológica y orientación productiva (kg SV/cabeza y día). Posteriormente, se han aplicado coeficientes productividad de biogás (PB) de cada materia prima o agrupación de materias primas al igual que con el resto de tipos de residuos cuantificados en PROBIOGAS.

Además, en la cuantificación de las deyecciones ganaderas se ha tenido en cuenta el carácter intensivo/extensivo de las explotaciones (potencial accesible según terminología de PROBIOGAS), mediante la diferenciación entre explotaciones intensivas y extensivas según la densidad en cabezas por hectárea de la explotación. Las provincias claramente extensivas o intensivas fijan las densidades "de corte" que se han aplicado para definir el carácter intensivo o extensivo de las explotaciones (4 cabezas/ha para porcino y 2 cabezas/ha para bovino). Las explotaciones cuya densidad sea menor que la densidad de corte fijada son consideradas extensivas y sus cabezas han sido eliminadas del potencial accesible. Una vez obtenido el potencial accesible, dicho potencial se ha minorado teniendo en cuenta los usos o aprovechamientos alternativos considerados en el análisis de disponibilidad.

Resultados ganadería

En la tabla mostrada a continuación, se presenta un resumen de los resultados de la cuantificación de materias primas de origen agroindustrial cuyo origen es la ganadería.

Tabla 16. Estimación de los potenciales accesibles de biogás (ktep/año) de deyecciones ganaderas

CCAA	Total	
	(t/año)	(ktep/año)
Galicia	1.106.166	41,4
P. de Asturias	625.206	17,6
Cantabria	1.931.617	49,1
País Vasco	389.992	14,6
Navarra	1.236.666	34,2
La Rioja	508.385	14,2
Aragón	7.871.358	193,6
Cataluña	9.681.819	243,1
Baleares	176.998	7,3
Castilla y León	7.239.493	202,2

(Continuación)

CCAA	Total	
	(t/año)	(ktep/año)
Madrid	612.285	17,8
Castilla-La Mancha	4.677.323	143,9
C. Valenciana	1.974.957	53,5
R. de Murcia	2.900.358	65,8
Extremadura	2.457.777	89,2
Andalucía	5.113.090	158,4
Canarias	420.590	15,6
España*	48.924.118	1.361,6

*Incluye Ceuta (gallinaza: 39 t/año)

6.3.5 Síntesis de la metodología y resultados del potencial de los residuos/subproductos de plantas de biocombustibles

En la cuantificación de los subproductos de plantas de biocombustibles líquidos se han considerado los subproductos generados en las plantas de biodiésel (glicerina) y bioetanol (residuos del aprovechamiento como materias primas de remolacha azucarera, trigo o maíz). Se han tenido en cuenta los residuos producidos en plantas en funcionamiento y en construcción, excepto para la agrupación Ibi2_B (residuos pulpa remolacha) en la que también se han sumado los procedentes de plantas planificadas debido a que sólo hay plantas en esta subcategoría. La metodología seguida, se basa en la aplicación de factores de generación de residuos según cantidad de biocombustible producido y en la estimación del factor de carga de cada planta de biocombustibles.

Resultados plantas de biocombustibles

En la tabla mostrada a continuación, se presenta un resumen de los resultados de la cuantificación de materias primas de origen agroindustrial cuyo origen es la industria bioenergética y los cultivos energéticos.

Tabla 17. Estimación de los potenciales accesibles de biogás (ktep/año) de plantas de biocombustibles líquidos

CCAA	Total	
	(t/año)	(ktep/año)
Galicia	109.126	18,1
P. de Asturias	207	0,0
Cantabria	8.014	1,1
País Vasco	22.231	3,1
Navarra	5.429	0,8
La Rioja	12.925	1,8
Aragón	8.375	1,2
Cataluña	4.446	0,6
Baleares	1.706	0,2
Castilla y León	211.918	34,2
Madrid	3.102	0,4
Castilla-La Mancha	38.858	6,0
C. Valenciana	22.231	3,1
R. de Murcia	65.115	11,1
Extremadura	18.612	2,6
Andalucía	62.831	8,8
Canarias	0	0,0
España*	595.126	93,3

6.3.6 Metodología y resultados del potencial de los residuos/subproductos de gran distribución y HORECA

Para la estimación de los residuos perecederos procedentes de la gran distribución de alimentos (hipermercados y supermercados) se han utilizado como base los datos de "Consumo y gasto en hogares en supermercados e hipermercados" (MAPA, 2006).

Sobre estos datos se han aplicado diferentes coeficientes para estimar la generación de residuos: consumo según subcategoría de producto a partir del cual se genera el residuo, cuota de mercado de la gran distribución (productos comprados en hipermercados y supermercados), coeficiente según la variabilidad provincial del consumo y coeficiente según la pérdida de los diferentes productos perecederos en supermercados.

Para los residuos HORECA, la metodología ha sido análoga a la seguida con los residuos perecederos procedentes de la gran distribución. Se

ha utilizado una base de datos principal "Cifras de población" (INE, 2008) para estimar el consumo total en bares/restaurantes y hoteles de los diferentes productos a partir de los cuales se generan los residuos HORECA. Además, sobre dicha fuente de datos principal se han aplicado diferentes coeficientes para estimar la generación de residuos: coeficiente consumo según subcategoría (bares y restaurantes u hoteles), coeficiente estimación del consumo realizado por el sector "hostelería y restauración" por provincia (kg/habitante) y coeficiente de generación de residuo respecto al total comprado por los establecimientos (porcentaje de pérdidas de alimentos durante la elaboración de las comidas y restos de alimentos servidos pero no consumidos).

Resultados distribución alimentaria y HORECA

En la tabla mostrada a continuación, se presenta un resumen de los resultados de la cuantificación de materias primas de origen agroindustrial cuya procedencia es la gran distribución alimentaria (hipermercados y supermercados) así como de los hoteles, bares y restaurantes.

Tabla 18. Estimación de los potenciales accesibles de biogás (t/año y ktep/año) de plantas distribución alimentaria y HORECA

	Distribución alimentaria (DAL)		HORECA		Total DAL + HORECA	
	t/año	ktep/año	t/año	ktep/año	t/año	ktep/año
Galicia	33.751	1,6	19.693	1,8	53.444	3,4
P. de Asturias	13.944	0,7	7.640	0,7	21.584	1,3
Cantabria	8.061	0,4	4.574	0,4	12.635	0,8
País Vasco	26.635	1,2	16.948	1,5	43.582	2,8
Navarra	7.924	0,4	4.874	0,4	12.798	0,8
La Rioja	3.924	0,2	2.495	0,2	6.419	0,4
Aragón	17.047	0,8	13.129	1,2	30.177	2,0
Cataluña	104.179	4,9	72.865	6,6	177.044	11,4

(Continuación)

	Distribución alimentaria (DAL)		HORECA		Total DAL + HORECA	
	t/año	ktep/año	t/año	ktep/año	t/año	ktep/año
Baleares	13.193	0,6	10.615	1,0	23.809	1,6
Castilla y León	34.932	1,6	18.525	1,7	53.457	3,3
Madrid	76.262	3,6	46.371	4,2	122.633	7,7
Castilla- La Mancha	24.410	1,1	15.106	1,4	39.516	2,5
C. Valenciana	59.148	2,8	51.812	4,7	110.960	7,4
R. de Murcia	15.363	0,7	14.691	1,3	30.054	2,0
Extremadura	13.115	0,6	8.116	0,7	21.232	1,3
Andalucía	98.405	4,6	82.864	7,5	181.269	12,1
Canarias	26.177	1,2	29.770	2,7	55.947	3,9
Ceuta	967	0,0	547	0,0	1.515	0,1
Melilla	893	0,0	505	0,0	1.398	0,1
España	578.329	27,0	421.142	37,9	999.471	65,0

A continuación, se comentan brevemente, los resultados del estudio de potencial de biogás agroindustrial en España.

En primer lugar, cabe destacar que tan sólo se ha considerado el potencial disponible estimado (1.425 ktep/año), es decir, el potencial accesible (1.887 ktep/año) minorado en un 24% por usos alternativos que coexistirán con el biogás como son la alimentación animal (piensos), la producción directa (sin pasar por digestión anaerobia) de compost, abonos y fertilizantes orgánicos, la obtención de ingredientes y/o aditivos para alimentación humana, o de interés farmacéutico o cosmético, otras valorizaciones energéticas, entre otras aplicaciones.

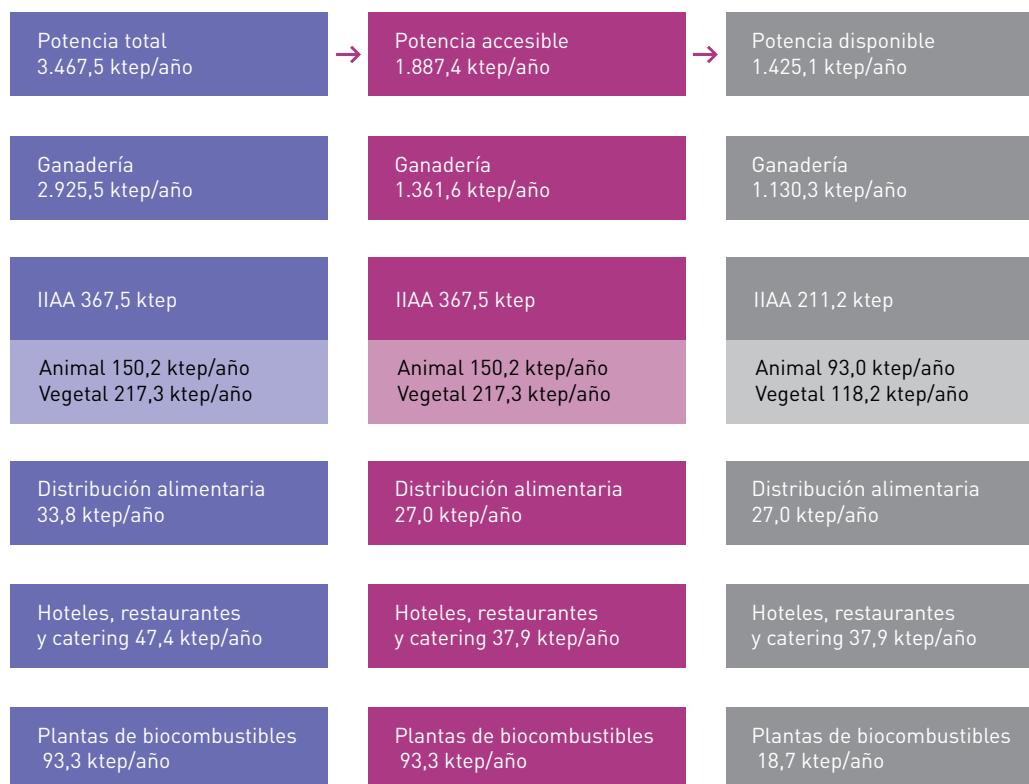
En este sentido, las figuras siguientes muestran casos de reducción significativos como la glicerina procedente de plantas de biocombustibles o los residuos de origen vegetal, donde el potencial disponible supone tan solo el 20 y 54% respectivamente del potencial accesible.

En las siguientes figuras se muestran en forma de diagrama los resultados resumidos del estudio de potencial, tanto en términos de materia fresca generada cada año (t/año) como de energía primaria a partir de biogás (ktep/año).

Figura 7. Resultados del estudio de potencial (t/año)



Figura 8. Resultados del estudio de potencial (ktep/año)



6.4 RESUMEN DE RESULTADOS

En este apartado se resumen los resultados de los estudios de potencial recientemente realizados. Se incluyen los resultados de los diferentes tipos de biogás y se comentan en particular los resultados del potencial de biogás agroindustrial en España (Tabla 19).

Tabla 19. Resumen de resultados potencial total, accesible y disponible (ktep/año)

	Potencial total (ktep/año)	Potencial accesible (ktep/año)	Potencial disponible (ktep/año)
Biogás de la fracción orgánica de residuo sólido urbano (FORSU)	778,1	311,2	124,5
Biogás de vertedero (VER)	957,9	208,8	145,6
Biogás de estaciones depuradoras urbanas de aguas residuales (EDAR)	164,4	123,3	N.D.
Subtotal biogás FORSU+VER+EDAR	1.122,3	434,5	270,1
Ganadería	2.925,5	1.361,6	1.130,3
Industrias alimentarias (origen animal)	135,7	135,7	81,4
Industrias alimentarias (origen vegetal)	215,9	215,9	117,1
Industrias alimentarias (lodos EDARI)	15,9	15,9	12,7
Distribución alimentaria (DAL)	33,8	27,0	27,0
Hoteles, restaurantes y catering (HRC)	47,4	37,9	37,9
Plantas de biocombustibles	93,3	93,3	18,7
Subtotal biogás agroindustrial	3.467,5	1.887,4	1.425,1
Total biogás	4.589,8	2.321,9	1.695,2

N.D.: no disponible.

Nota: Los potenciales totales y accesibles de biogás de FORSU y de vertedero no se deben sumar, ya que son opciones de gestión que compiten entre sí por valorizar un mismo residuo. De cara a calcular el potencial total y accesible del conjunto del sector del biogás, se ha considerado el más alto de los dos.

7 Conclusiones

El estudio **Situación actual y potencial de generación de biogás en España**, se enmarca dentro del conjunto de trabajos previos a la elaboración del nuevo Plan de Energías Renovables 2011-2020. El presente informe ha sido elaborado con el objetivo de difundir los principales resultados obtenidos en los diversos estudios realizados.

A continuación se describen brevemente los apartados incluidos en el presente informe:

- **Marco jurídico.** Identificación y análisis de los aspectos de la normativa con una mayor influencia en el desarrollo del biogás agroindustrial en la Unión Europea y en España.
- **Tecnologías.** Descripción de las fases de la digestión anaerobia y revisión de las principales tecnologías asociadas a este proceso.
- **Situación actual en la Unión Europea y en España.** Análisis del sector del biogás agroindustrial en la Unión Europea y en España.
- **Potenciales.** Resultados de la estimación del potencial del biogás agroindustrial en España, en términos de materia fresca (t/año) y energéticos (ktep/año). Se incluye un resumen de la metodología seguida para la tipificación y la cuantificación estimativa de los materiales (residuos y subproductos) de origen agroalimentario (ganaderos, agrícolas, industrias alimentarias, gran distribución alimentaria y HORECA) potencialmente utilizables para la producción de biogás.

Además de los resultados de potencial de biogás agroindustrial, en el apartado 6 "Potenciales" se encuentra un cuadro resumen con los resultados de los diversos estudios de potencial de biogás realizados para el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). Estos estudios analizan el potencial del biogás obtenido a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, el procedente de los vertederos y el obtenido en estaciones depuradoras urbanas de aguas residuales.

El **anexo** que se incluye a continuación amplía la información sobre la situación del biogás en la Unión Europea, en particular, se describe la situación en Alemania, Dinamarca e Italia y se incluyen algunos ejemplos de plantas de biogás.

8 Anexos

8.1 SITUACIÓN EN OTROS PAÍSES DE LA UNIÓN EUROPEA

8.1.1 Dinamarca

Dinamarca es uno de los países pioneros en la producción de biogás a partir de residuos agroindustriales y el principal ejemplo en el mundo de aplicación del modelo de plantas de biogás centralizadas basadas en la co-digestión anaerobia de residuos ganaderos e industriales.

Producción de biogás

En 2008, la energía procedente del biogás ascendió a un total de 4PJ/año o 95,52 ktep/año. La distribución de esta producción según el tipo de biogás se muestra en la siguiente tabla, con datos de 2004 (únicos disponibles) pero muy próximos a los actuales. En la Tabla 21 se muestra el número y tipo de instalaciones que originan la producción de biogás en Dinamarca.

Tabla 20. Producción de biogás en el año 2004 (PJ/año y ktep/año) en Dinamarca (Tafdrup, 2006)

Origen del biogás	PJ/año	ktep/año	%
Residuos ganaderos	0,9	21,7	24
Lodos de depuradora	0,8	19,8	22
Residuos industriales	0,9	20,5	23
Residuos industriales (import.)	0,7	15,5	17
Harina de carne y de huesos	0,0	0,0	0
Residuos orgánicos domésticos	0,0	0,7	1
Vertedero	0,5	11,0	12
Total	3,7	89,3	100

Tabla 21. Número y tipo de instalaciones de producción de biogás en Dinamarca (Asociación Danesa del Biogás, 2008)

Número	Tipo
81 (21 centralizadas y 60 individuales)	Plantas de biogás basadas en la co-digestión de residuos ganaderos e industriales
64	Digestores de lodos de depuradora urbana
5	Plantas de tratamiento de aguas residuales industriales
25	Vertederos

Las *plantas centralizadas* o colectivas se crearon a mitad de los 80 en Dinamarca para valorizar los residuos de granjas (5-100 explotaciones) situadas en un radio aproximado de unos 20 km entre ellas.

La planta centralizada dispone de camiones cuba que organizan el transporte de los residuos hasta la planta de forma eficiente para no acumular purines frescos en las granjas.

Adicionalmente, se emplean co-sustratos orgánicos de industrias alimentarias cercanas (unos 100 km) hasta un máximo del 25% sobre materia seca del mix de entrada a la planta, según exige la normativa danesa.

El calor generado en muchas plantas danesas es aprovechado por los municipios cercanos en sistemas *district heating* acordando un precio por su venta.

Potencial de biogás

Según un estudio realizado en 2006, el potencial de biogás de Dinamarca es de 39 PJ/año o 931,3 ktep/año.

Tabla 22. Potencial de biogás (PJ/año y ktep/año) en Dinamarca (Tafdrup, 2006)

Origen del biogás	PJ/año	ktep/año	%
Residuos ganaderos	26,0	620,9	67
Lodos de depuradora	4,0	95,5	10

(Continuación)

Origen del biogás	PJ/año	ktep/año	%
Residuos industriales	2,5	59,7	10
Residuos industriales (import.)	2,0	47,8	5
Harina de carne y de huesos	2,5	59,7	6
Residuos orgánicos domésticos	1,0	23,9	3
Vertedero	1,0	23,9	3
Total	39,0	931,3	100

Menos del 5% de todos los purines generados en Dinamarca son valorizados en forma de biogás. Sin embargo, se observa en las tablas anteriores como el potencial de los residuos industriales o co-sustratos se ha consumido ya en buena parte. Incluso existe un importante *input* de residuos industriales importados de países cercanos (Alemania).

Materias primas agroindustriales

La mayor parte de las materias primas empleadas son residuos ganaderos y sobre todo purines de cerdo.

Progresivamente se han incorporado los residuos orgánicos de industrias alimentarias que en la actualidad suponen el 20,6% de los materiales empleados en las plantas de biogás danesas. Las plantas centralizadas ven así mejorado el rendimiento energético de su instalación y además pueden cobrar, en ocasiones, un canon de tratamiento al industrial. Para el industrial, el canon de una planta de biogás centralizada es menor que el de una incineradora o vertedero.

Tabla 23. Materias primas (t/año) y plantas (%) de biogás agroindustrial (Asociación Danesa de Biogás, 2008)

Residuos ganaderos	1.742.156
	79,4%
Residuos industriales	450.708
	20,6%
Total	2.192.864
	100%

Suponiendo un contenido medio en metano del 65% en el biogás y los datos de producción de energía de la tabla anterior, la productividad media de los residuos ganaderos se situaría en unos 18 m³ biogás/t, mientras que para los co-sustratos promediaría unos 82 m³ biogás/t.

La incorporación de residuos orgánicos domésticos separados en origen a las plantas centralizadas es testimonial. La gran mayoría se lleva a incineración. Una de las ventajas que se está teniendo en cuenta como aspecto favorable es que separando en origen los residuos domésticos se recuperaría el fósforo que es un recurso limitado y del que Dinamarca tiene carencia. Por otro lado, la directiva europea 2008/98 de residuos que promoverá la recogida selectiva de los biorresiduos puede convertirlos en el futuro en una importante materia prima para la producción de biogás.

Por último, los cultivos energéticos no se emplean en las plantas de biogás danesas. Esto se debe a que no existe incentivo económico específico por su uso, y el coste de cultivo no compensa económicamente. No obstante, la posible escasez de residuos industriales en la futura expansión del biogás en Dinamarca ha propiciado el interés por conocer el potencial de los cultivos energéticos en los suelos y climatología específicos de este país.

Otras materias primas: cultivos energéticos

La promoción de los cultivos energéticos en Dinamarca es objeto de debate en la actualidad y su inclusión dentro del Plan de Crecimiento Verde puede ser una realidad a finales del 2009.

Un estudio realizado por Dinamarca junto con Suecia y Finlandia analizó el uso de cultivos energéticos para la producción de biogás. El potencial estimado para

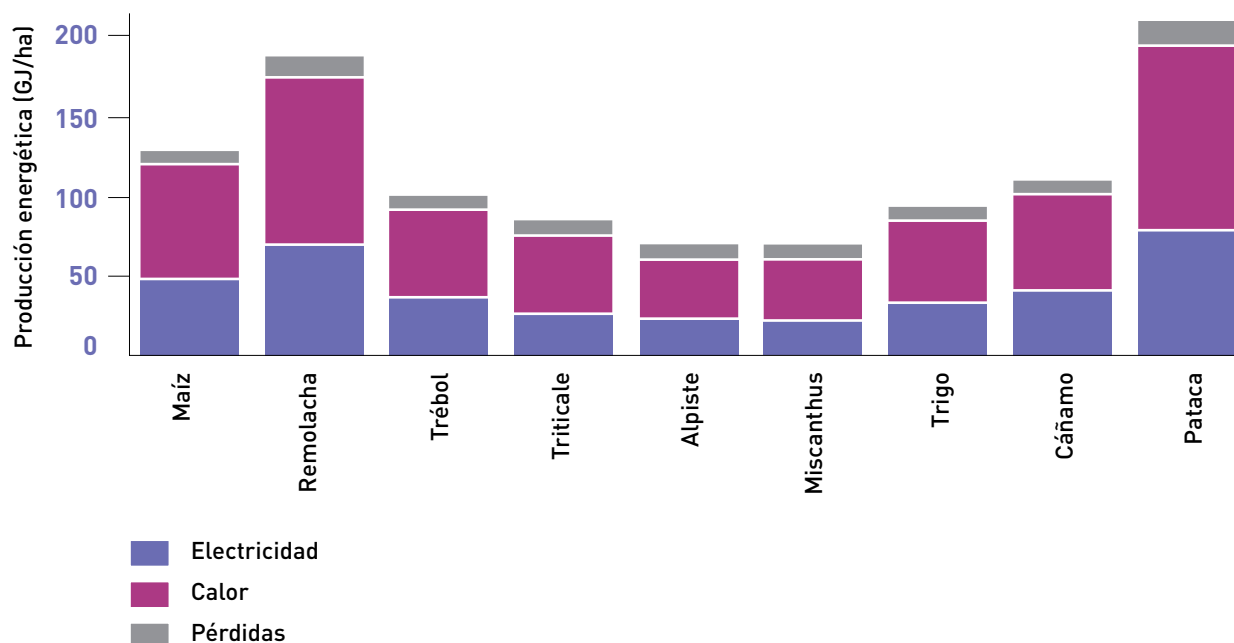
Dinamarca con 120.000 ha disponibles ascendía a 18 PJ/año (430 ktep/año) según el estudio. A continuación se muestra una tabla con los distintos rendimientos para 9 cultivos seleccionados (Tabla 24).

Tabla 24. Rendimiento de biomasa y metano de cultivos energéticos en Dinamarca (Moller, 2008)

Cultivo	Rendimiento biomasa (kg ST/ha)	Materia orgánica (% SV/ST)	N/P/K (kg/ha)	Rendimiento en metano (Nm ³ CH ₄ /kgSV)
Maíz	8.995-11.244	96	146/42/111	0,36
Miscanthus	7.500-11.300	98	90/6/45	0,20
Remolacha	10.000-13.000	92	172/40/312	0,38
Trébol	8.091-9.170	90	100/37/270	0,35
Triticale	7.100-9.900	95	135/23/70	0,28
Alpiste rojo	5.000-8.000	96	50/30/30	0,30
Trigo	4.800-8.000	98	140/28/94	0,43
Cáñamo	10.000-14.000	-	125/30/75	0,26
Pataca	8.000-13.000	95	135/40/130	0,30

El estudio realizó también un balance energético por hectárea cultivada para cada cultivo proporcionando un resultado positivo en los 9 cultivos analizados variando entre 65-200 GJ/ha:

Figura 9. Balance energético de los cultivos energéticos en Dinamarca (Moller, 2008)



El estudio también determinó el potencial medio de reducción de emisiones de CO₂ de los cultivos energéticos en 9.000 kgCO₂/ha/año. Este potencial es superior de acuerdo con el informe al de los cultivos energéticos para bioetanol y biodiesel.

Ejemplos de plantas de biogás danesas

Tabla 25. Adaptado de las estadísticas de las plantas de co-digestión danesas (Dansk Bioenergi, 2006)

Planta	Vol. Reactor	Total (m ³ /año)	Co-sustratos (%)	THR (días)	Biogás (Nm ³ /año)	Electricidad (kWh/año)
Davinde	750	15.336	15,3	18	456.000	861.600
Hodsager	880	11.652	16,8	27	571.068	-
Filskov	880	35.736	18,3	9	1.525.404	3.259.680
Blaahoej	1.200	33.528	22,0	13	1.877.016	4.513.392
Vegger	1.400	29.892	12,0	17	3.138.612	5.278.788
Vaarst-Fjellerad	1.900	61.644	33,1	11	5.302.464	2.559.480
Sinding	2.100	47.172	12,1	16	4.244.724	-
Snertinge	2.550	31.620	42,5	29	1.730.580	480.000
V. Hjermitlev	2.700	29.064	13,9	33	2.221.200	5.424.000
Fangel	4.400	66.264	18,6	24	3.956.892	8.192.088
Thorsoe	4.600	119.820	3,4	14	3.209.988	835.572
Ribe	4.785	149.928	14,6	11	4.654.056	11.746.800
Blaabjerg	5.000	111.972	17,9	16	3.120.000	7.580.160
Nysted	5.000	36.612	25,3	49	3.120.000	5.556.000
Studsgaard	6.000	77.004	8,6	28	4.258.260	-
Hashoej	7.000	84.120	32,6	30	7.646.784	14.804.400
Lemvig	7.000	165.708	34,0	15	7.272.000	17.796.000
Aarhus Nord	8.010	-	-	-	-	-
Lintrup	9.200	179.052	3,4	18	6.432.000	15.036.000

Canon de tratamiento de residuos

No existen precios uniformes por el tratamiento de los residuos industriales en las plantas de biogás danesas. Cada planta y zona de Dinamarca es distinta y existe un mercado regulado por la oferta y la demanda de estos residuos.

En el mejor de los casos para la planta de biogás se puede llegar a cobrar hasta unos 25-30 €/t sin contar el transporte que también corre a cargo de la industria. En el peor de los casos, la planta centralizada no cobra nada pero el transporte del residuo corre a cargo del industrial.

La productividad de biogás del residuo (m³ biogás/t) suele jugar un papel fundamental. En determinadas circunstancias, la planta centralizada puede pagar unos mayores costes de transporte por algunos residuos muy productivos como los aceites vegetales usados o la glicerina de las plantas de biodiesel.

En los últimos años se ha producido una creciente demanda de residuos industriales como co-sustratos por lo que la contribución a la viabilidad económica de las plantas de biogás se ha moderado. La expansión del biogás en los próximos años (del 5% de purines tratados al 40% en 2020) puede limitar todavía más la disponibilidad de estos co-sustratos. La utilización de cultivos energéticos es objeto de debate en la actualidad como alternativa.

Digestatos

Una normativa promovida en 1987 por la Agencia Danesa de Medio Ambiente (*Water Environment Action Plan*), creada a raíz del problema de contaminación por lixiviación de nitratos por la aplicación de purines al campo, reguló la capacidad de almacenamiento (6-9 meses), el número de animales por hectárea así como el máximo *input* de nitrógeno por hectárea.

Esto supuso que en determinadas zonas de Dinamarca se produjeran excedentes, lo que animó a muchos granjeros a participar en las plantas centralizadas donde era más fácil organizar la redistribución de los nutrientes en las parcelas agrícolas propiedad de los propios socios.

En la actualidad, los digestatos se almacenan hasta su aplicación bien en balsas cubiertas junto a las plantas centralizadas o bien en depósitos próximos a las parcelas agrícolas donde se aplican. Los costes de inversión pueden correr a cargo de la planta o del granjero según el contexto de cada zona y cooperativa.

Las plantas de biogás pueden utilizar como máximo un 25% de la materia seca procedente de residuos no ganaderos. Por debajo de este umbral el digestato se puede aplicar al terreno fácilmente considerando el balance de nutrientes y los códigos de buenas prácticas agrícolas. Sin embargo, si se supera este porcentaje, al digestato le aplica la normativa de aplicación al terreno de lodos EDAR. La asociación danesa de biogás desea cambiar esta normativa, y que los porcentajes se refieran a volumen y no a materia seca.

Políticas de ayudas impulsadas en el pasado para el desarrollo del biogás

Entre las políticas que más han influido en el desarrollo del sector del biogás danés, se encuentra el *Biogas Action Programme* (iniciado en 1988 y prolongado hasta 2002). Dicho programa se centró en la construcción y monitoreo de las plantas de biogás, las actividades de información e investigación y de transferencia de tecnología. Además, incluía subvenciones de hasta el 40% de la inversión en plantas centralizadas de biogás, con una financiación a largo plazo y bajos intereses en los préstamos. En este contexto, entre una y dos plantas centralizadas de biogás fueron construidas cada año; de forma gradual, las plantas mejoraron tanto sus producciones de biogás como la viabilidad económica de las mismas.

Según un aclaratorio artículo de Raven (2007), entre los aspectos que fueron decisivos para el desarrollo exitoso de las plantas de biogás se encuentran los siguientes:

1. Fomento, por parte de las autoridades danesas, de la interrelación entre los ganaderos, investigadores, compañías suministradoras de plantas de biogás, operadores de plantas de biogás y autoridades públicas. Permitted compartir conocimientos y un aprendizaje interactivo.
2. Potenciar la co-digestión, lo cual mejoró notablemente la producción de biogás de las plantas. Particularmente, residuos grasos y residuos de procesado de pescado fueron aprovechados. En muchas plantas se añadieron hasta un 20% de residuos orgánicos, lo cual mejoró la producción de biogás, y por tanto, la venta de energía eléctrica.
3. Continuidad en el tiempo del programa de apoyo al biogás y del apoyo financiero
4. Contexto político y social. La política danesa permitió el establecimiento de unidades de cogeneración descentralizadas para el

aprovechamiento del gas natural y de la biomasa, la existencia de muchos sistemas de *district heating*, la implementación de tasas energéticas a finales de la década de los 80. Y la preferencia de los ganaderos daneses de cooperar en pequeñas comunidades (5-100 personas).

La organización en cooperativas se consolidó como estructura organizativa para las plantas de biogás después de 1987. Las cooperativas se encargaban del transporte y distribución por los ganaderos². Algunas cooperativas incluso construyeron tanques locales de almacenamiento cerca de los campos de los ganaderos y se los alquilaban. Esto liberó a los ganaderos de grandes inversiones en tanques de almacenamiento privados. Las cooperativas no tenían como objeto conseguir beneficios económicos, y fueron financiadas con préstamos y subvenciones del gobierno. E incluso, obtenían un ingreso por venta de energía así como un incentivo por recibir residuos industriales. Esto permitió a los ganaderos gestionar las deyecciones ganaderas sin coste.

Pese que a mediados de la década de los 90, la situación en el sector del biogás era prometedora, este desarrollo se vio frenado como consecuencia de determinados cambios coyunturales, tales como la incipiente liberalización del sector energético y la incertidumbre ocasionada por la transición de un sistema a otro. El gobierno danés decidió en 1999, como parte de la reforma energética, reemplazar el sistema de tarifa fijo por el modelo de certificados de mercado.

Cambio del marco tarifario para la venta de electricidad (febrero 2008)

En el *Agreement on Danish energy policy for the years 2008-2011* (febrero 2008), las nuevas medidas de apoyo al biogás se aplican tanto a las nuevas como a las plantas de biogás existentes.

La siguiente tabla resume la modificación realizada que afecta a nuevas plantas:

Tabla 26. Marco tarifario en Dinamarca tras el acuerdo político de febrero de 2008

Nuevas plantas de biogás	Antes de febrero 2008		Después de febrero 2008	
	DKK/kWhe	€/kWhe	DKK/kWhe	€/kWhe
Primeros 10 años	0,6	0,08	0,75	0,10
Del año 11 al 20	0,37	0,05	0,75	0,10
Actualización de la tarifa	No		Actualización anual de la tarifa equivalente al 60% del incremento del IPC	

Venta de la energía térmica

El biogás se aprovecha en motores de co-generación de electricidad y calor propios o bien se entrega a empresas del sector energético que explotan el recurso. El calor puede ser empleado en la granja (plantas individuales) o en redes de *district heating* cerca de municipios. El precio de venta de la energía térmica varía caso a caso según el acuerdo alcanzado, siendo en cualquier caso mucho menor que el de la venta de la energía eléctrica.

Biogás en la red de gas natural

Dinamarca apuesta por la inyección del biogás en la red de gas natural por delante de su uso en vehículos. En la actualidad se está decidiendo el marco que incentivará la incorporación del biometano en la red de gas natural danesa.

Plan de Crecimiento Verde, abril 2009

Un hito reciente de gran importancia para el desarrollo del biogás en Dinamarca es el lanzamiento

²La gestión a través de cooperativas de los purines paliaba en parte el coste que suponía para los ganaderos cumplir determinadas medidas legislativas relativas al almacenamiento de las deyecciones ganaderas (obligación de disponer de capacidad de almacenamiento para purines un tiempo mínimo de 6 meses y posteriormente 9 meses)

del nuevo "Plan de Crecimiento Verde" del gobierno danés en abril de 2009. El plan pretende integrar las políticas sobre agricultura, medio ambiente y recursos naturales para un desarrollo sostenible.

Cabe destacar el papel del biogás ya que se plantea como objetivo que para el 2020 el 40% de los residuos ganaderos serán empleados en la producción de energía. En la actualidad es tan solo el 5%.

Para ello prevé destinar importantes ayudas a la inversión así como a la coordinación de políticas de apoyo al biogás. El plan incluye un paquete de medidas de apoyo al biogás que se resume a continuación:

- Apoyos a la inversión en nuevas plantas: 20% subvención, 60% préstamo avalado por los ayuntamientos (obligado cumplimiento para ayuntamientos), 20% procedente de los inversores.
- Los ayuntamientos deberán indicar y reservar áreas específicas para la construcción de plantas de biogás.
- Se incrementará el porcentaje de purines tratados en las plantas de biogás: del 5% actual hasta un 50% en 2020.
- Igualar el tratamiento para plantas de biogás y para distribuidores de gas natural en cuanto al suministro de combustible a sistemas de *district heating*.
- Igualar las ventajas para la inyección en la red de gas natural y para la producción de electricidad en motores de cogeneración.

Objetivos

El 21 de febrero de 2008, el gobierno danés presentó un acuerdo con la mayoría de grupos parlamentarios; este acuerdo garantiza unas mejores condiciones para determinadas fuentes de energía renovables como es el caso del biogás, por lo que la situación de estancamiento en dicho sector podría revertirse.

El objetivo del gobierno es incrementar la producción actual desde 97,9 ktep hasta 239 ktep en el 2020, equivalente al 1,2% del consumo energético pronosticado para ese momento. Se pretende incrementar considerablemente el número de las unidades colectivas de co-digestión para lograr dicho objetivo.

Además de incrementar la tarifa eléctrica para el biogás como se explica en un apartado anterior, se decidieron otros objetivos estratégicos de gran

calado. En concreto, Dinamarca aspira a que las energías renovables supongan el 30% del total de su consumo energético para el 2020 y el 20% en el 2011.

Iniciativas de I+D recientes en Dinamarca

Entre los principales centros de investigación daneses en materia de biogás se encuentran los siguientes: *Danish Technological Institute*, *Research Centre Bygholm*, *Technical University of Denmark (DTU)*, *Risø DTU – National Laboratory for Sustainable Energy*, *Faculty of Agricultural Sciences Aarhus University*, *Danish Research Institute for Food Economics*.

Existen diferentes programas (EUDP, EFP, PSO, ENMI)³ que apoyan proyectos relacionados con las fuentes de energía renovables y que incluyen la tecnología del biogás en los mismos; fundamentalmente están financiados con fondos públicos a través de la *Danish Energy Authority*.

Energynet.dk es la entidad danesa responsable de la integración del biogás a la red de gas natural. Se ha convertido en la principal financiadora de proyectos de biogás en Dinamarca a través de sus programas ForskEL y ForskNG.

- Mejora de la productividad de plantas de biogás que funcionen sólo con residuos ganaderos a través de pretratamientos específicos, incluyendo el desarrollo de técnicas de separación sólido-líquido en origen para transportar sólo la fracción con mayor densidad energética dejando la fracción líquida en la granja. La Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Aarhus es la responsable del proyecto. Proyecto apoyado por el programa de ayudas a la I+D ForskeNG 2009 nº 10294. (*Energynet.dk*). Tiene un presupuesto total de 3M DKK. Finaliza en 2011.
- Solución a los problemas de las espumas en las plantas de biogás. El objetivo es conocer los mecanismos de formación y prevenir/eliminar su formación. El proyecto tiene un presupuesto de 2M DKK y está desarrollado por el centro de investigación *DTU Environment*. ForskeEL 2009 nº 10255. Finaliza en 2011.
- Cultivos energéticos para la producción de biogás. DSF 2104-04-0002. Proyecto desarrollado por el *Biosystems Department* del centro de investigación *Risø DTU* con un presupuesto de 2 M DKK y finaliza en el último cuatrimestre de 2009.

³EUDP: Energiteknologiske Udviklings- og Demonstrationsprogram; PSO – Miljøvenlige elproduktionsmetoder (ForskEL); PSO – Effektiv energianvendelse (ELFORSK), DSF – EnMi – Det Strategiske Forskningsrads program for bæredygtig energi og miljø

- Implementación de un sensor de ácidos grasos volátiles para el control y optimización de la digestión anaerobia de plantas de biogás de bajo coste que funcionen sólo con residuos ganaderos. El proyecto tiene un presupuesto de 1,7 M DKK y está desarrollado por el centro de investigación *DTU Environment*. ForskEL N° 6415. Proyecto finalizado a mediados de 2009.
- *FiberMaxBiogas*. Desarrollo de un pretratamiento para sustratos con alto contenido en fibras consistente en la aplicación de altas temperaturas y altas presiones con adición de oxígeno. Desarrollado por el *Centre for Biotechnology and Bioenergy (University of Aalborg)*. ForskEL N°10209. Presupuesto de 7M DKK. Finaliza en el cuarto trimestre de 2010.

La consulta de la base de datos del *Risø National Laboratory for Sustainable Energy, Technical University of Denmark (DTU)*, así como otras fuentes detalladas en la bibliografía, permite analizar las principales líneas de I+D y los proyectos de desarrollo tecnológico daneses:

- Líneas de investigación relacionadas con la optimización del aprovechamiento de los sustratos para producción de biogás y nuevas configuraciones para mejorar la eficiencia del proceso:
 - Implementación de tecnologías relativas a pretratamientos y postratamientos para maximizar la producción de biogás a escala industrial. Proyecto ejemplo: *Precision management of biogas plant*. (2005-2008).
 - Proyectos de demostración para determinar las condiciones óptimas de proceso combinadas con pretratamientos (hidrólisis a baja temperatura) en plantas de biogás de aguas residuales que aprovechan como co-sustratos las deyecciones ganaderas, con el objetivo de incrementar la producción de biogás y la generación de energía. Proyecto ejemplo: *Large scale demonstration of plant for selective hydrolysis of sludge from waste water treatment plants to enhance the production of power and power production flexibility and to reduce power consumption*.
 - Proceso de digestión anaerobia mediante sucesivas digestiones en serie. Proyecto ejemplo: *Full-scale demonstration of serial digestion*. (2008-2009). El objetivo del proyecto es la demostración y documentación del efecto de sucesivas digestiones (configuración de las conexiones y condiciones de operación) para lograr una mejor eficiencia del proceso de digestión de plantas que aprovechan purines.
- Control de parámetros de proceso y métodos de estabilización:
 - Control del proceso de digestión anaerobia. Proyecto ejemplo: *Control of anaerobic digestion processes for optimisation of Hydrogen production*. (2005-2006). El proyecto se centra en identificar los parámetros importantes que influyen sobre las rutas metabólicas para una producción óptima de hidrógeno y en investigar las configuraciones de proceso para maximizar la producción de energía (combinación de biohidrógeno y de biogás).
 - Control en tiempo real del proceso mediante sensores y monitorización para optimización del proceso. Proyecto ejemplo: *Real-time control of biogas reactors*. (2008-2010). Tiene como objetivo el estudio y la documentación de tecnologías de medida que pueden ser implementadas en las plantas de biogás existentes y en las futuras plantas para incrementar la productividad. El control basado en medidas en tiempo real en el digestor de parámetros de proceso se espera que permita una mejora en el funcionamiento del mismo. Las tecnologías de medida estudiadas incluyen *NIR (Near Infrared Spectroscopy)*, *mid-ID (Mid-Infrared Spectroscopy)*, *MIMS (Membrane Inlet Mass Spectrometry)* y *automated GC Head-Space analysis of volatile fatty acids*. Desarrollado por el centro de investigación DTU. Presupuesto 2,9 M DKK. Finaliza en el tercer trimestre de 2010.
 - Desarrollo de estrategias de prevención y recuperación en caso de fallo o desequilibrios en el proceso de producción. Proyecto ejemplo: *Process imbalance in biogas plants and strategies for prevention and recovery of the biogas process*. (2005-2008). Desarrollo de herramientas para una mejor comprensión del fallo del proceso (mecanismos de inhibición, inhibidores, grupo de microorganismos que son inhibidos, etc.) e investigación de estrategias para la recuperación.
- Inyección del biogás en la red de gas natural.
 - Proyecto de demostración: *BioTrans – Upgrading biogas for transportation purposes*. (2008-2010). El proyecto analiza y estudia los casos en los que resulta rentable e interesante para la sociedad depurar el biogás de CO₂ y utilizarlo como combustible en vehículos o para inyección en la red de gas.
 - Proyecto de demostración: *Biogas to the grid*. (2008-2009). Análisis de barreras económicas, técnicas y legales para la inyección de biogás (tras limpieza y mejora) en la red de

gas natural. Asesoramiento en el caso de la planta Thorsø Bopgas-&Miljøanlæg (THMB). ForskEL 10124. Presupuesto 1,6 M DKK. Desarrollado por el Danish Gas Technology Center. Finaliza en el cuarto trimestre de 2009.

- Nuevos aprovechamientos del biogás en pilas de combustible:
 - *Integrated HT-PEMFC and multifuel reformer for micro CHP*. El proyecto se centra en el desarrollo y demostración de un sistema de micro CHP consistente en una *High-temperature PEM, fuel-cell stack* y un *Multifuel reformer*. A largo plazo, se necesitará desarrollar los sistemas para que operen con biogás. Finalización durante el primer trimestre de 2010.
 - *Fuel Cell: SOFC (Solid Oxide Fuel Cells) y PEM (Polymer Electrolyte Membrane)*. Actividades de desarrollo y demostración en las áreas de uso estacionario/móvil y para uso en transporte. Existen diferentes tipos de *fuel cells*, en Dinamarca los esfuerzos se han concentrado en el desarrollo de dos tipos de tamaño entre 1 – 500 kW, para aprovechamiento estacionario.
- Producción energética a partir de biomasa marina algal. Proyecto ejemplo: *Energy production from marine biomass (Ulva lactuca)*. (2008-2011). Aprovechamiento de la biomasa algal para producción de bioetanol y biogás a través de procesos eficientes. Captura de CO₂, conversión de la biomasa algal en bioetanol y producción de biogás con los residuos de la producción de bioetanol.
- Optimización del proceso de producción de bioetanol (y tecnología de producción de etanol de 2ª generación) combinándolo con la producción de biogás. Proyecto ejemplo: *Optimization of the MaxiFuels concept by implementation of salt removal and recovery of a high value fertilizer product*. (2006-2008). El objetivo del proyecto es optimizar la producción de bioetanol a partir de biomasa lignocelulósica mediante la implementación de un proceso de eliminación de sales para el tratamiento del efluente final del proceso de producción de etanol, dicho efluente tratado será posteriormente aprovechado para producir biogás.
- Biorrefinerías para la producción de biogás sostenible y rentable económicamente a partir de cultivos energéticos. Proyecto ejemplo: *Biorefinery for sustainable, reliable economical fuel production from energy crops*. (2006-2010). Biorrefinería para aprovechar los cultivos de oleaginosas y los residuos de la agricultura, en un proceso integrado

de producción de varios tipos de vectores energéticos (biodiesel, bioetanol, biohidrógeno y biogás), subproductos con valor añadido y fertilizantes orgánicos permitirán maximizar el valor de la biomasa inicial.

Algunas de las prioridades para futuros desarrollos en I + D (SDU, 2008) son las siguientes:

- Aspectos relacionados con control biológico y de proceso (control *on line*) de las plantas de biogás centrados en mejorar el potencial de producción de biogás para mejorar la viabilidad de las plantas a nivel económico.
- Optimización global del sistema de producción de energía y minimización de la producción de GEI, desde la producción de biogás hasta el almacenamiento de digestato y su aplicación final.
- Focalización en los conceptos y medios técnicos que permitan minimizar los costes de operación.
- Perfeccionar los estándares técnicos para proteger eficazmente los municipios cercanos de olores molestos.

8.1.2 Alemania

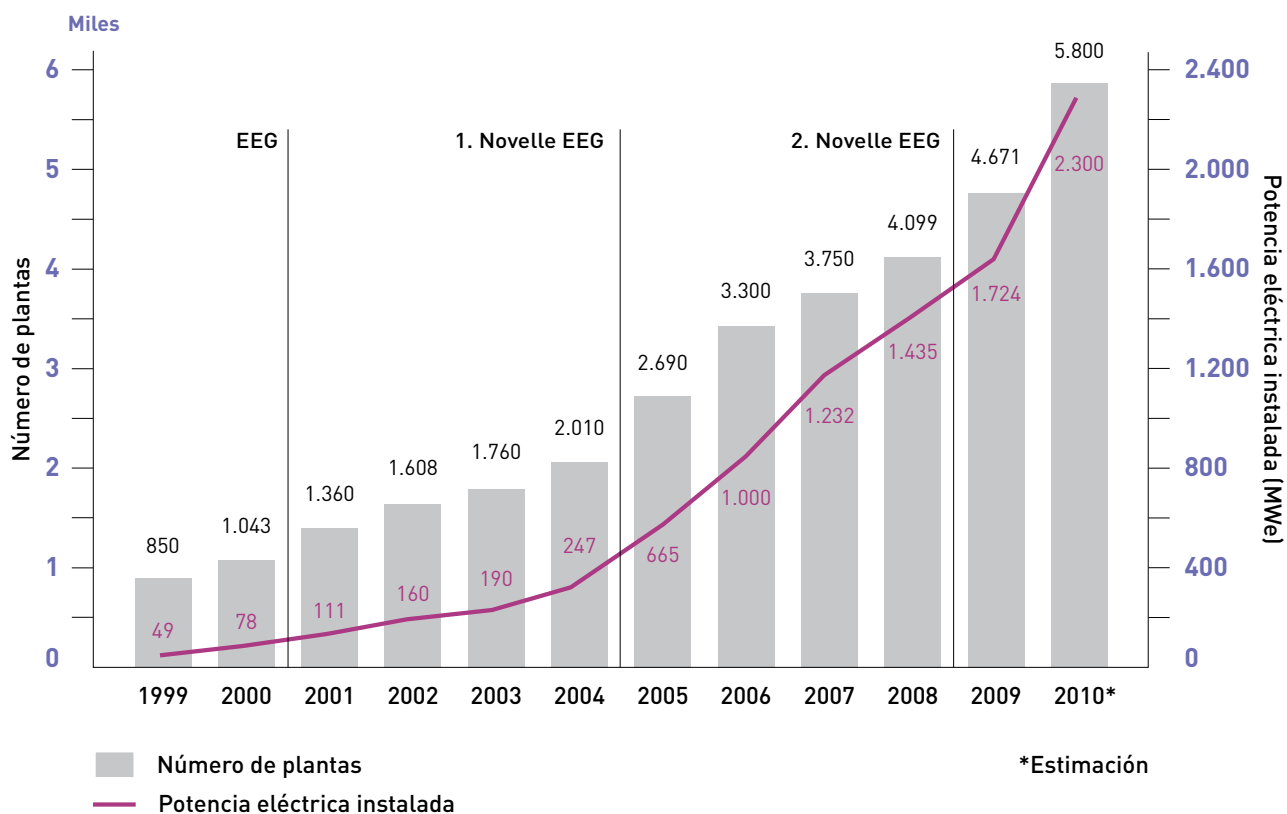
Alemania ocupa el primer lugar del ranking europeo, gracias al enorme desarrollo que ha experimentado en los últimos años las plantas de tratamiento de residuos ganaderos en co-digestión con cultivos energéticos.

Producción de biogás

Alemania produce, según datos de EurObserver (2009) 3.675,8 ktep de energía procedente del biogás, lo que supone el 48% de la producción total en la UE.

Según *Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe*, para finales del 2010 existirán casi 5.800 plantas de biogás en Alemania y una potencia eléctrica instalada de 2.300 MWe. Durante 2009, se encontraban en Alemania 4.671 plantas de biogás en operación.

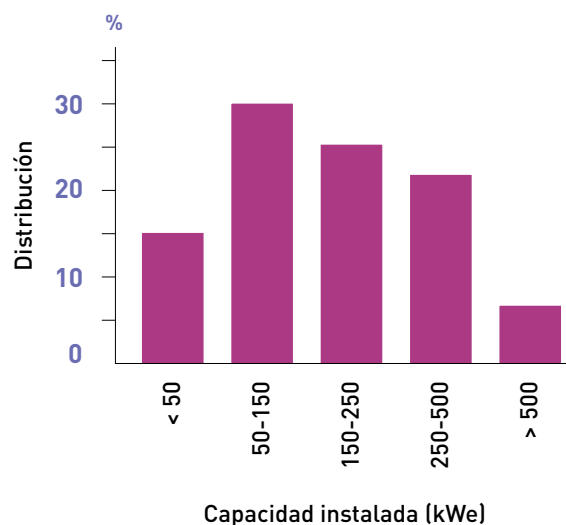
Figura 10. Evolución del número de plantas de biogás y potencia eléctrica instalada (MWe) en Alemania (FNR, 2010)



Quellen: FNR nach DBFZ (2010), FvB (2010)

Como muestra el siguiente gráfico, el tamaño de las plantas de biogás en Alemania es relativamente pequeño. Casi la mitad tienen una potencia instalada inferior a los 150 kWe, y solo un 7% aproximadamente tienen una capacidad superior a los 500 kWe.

Figura 11. Distribución de las plantas en función de la capacidad instalada (kWe) (Jornadas Genera, 2009)



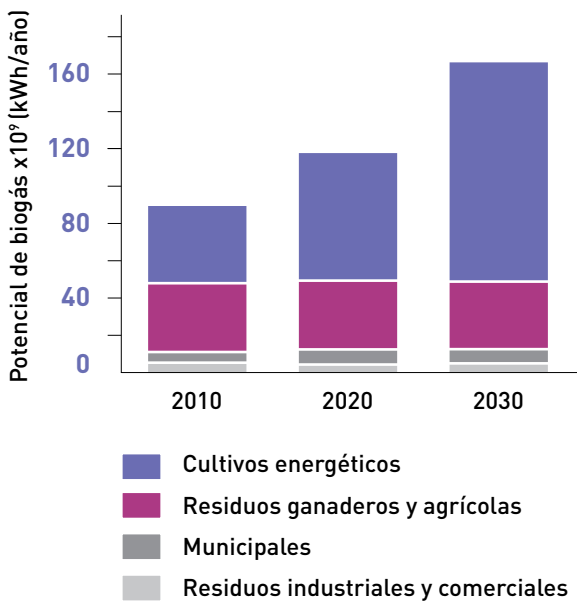
Potencial de biogás

El potencial de biogás de Alemania estimado por BGW/DVGW en 2006 asciende a unos 50 millones de MWh/año (4.300 ktep/año o 180 PJ/año) sin tener en cuenta los cultivos energéticos, es decir, contando tan solo con los residuos agrícolas y ganaderos, los industriales o comerciales y los municipales.

Si consideramos los cultivos energéticos cultivables en 2010, la cifra asciende a 90 millones de MWh/año (7.740 ktep/año o 324 PJ/año) y hasta 165 millones de MWh/año (14.190 ktep/año o 594 PJ/año) en 2030.

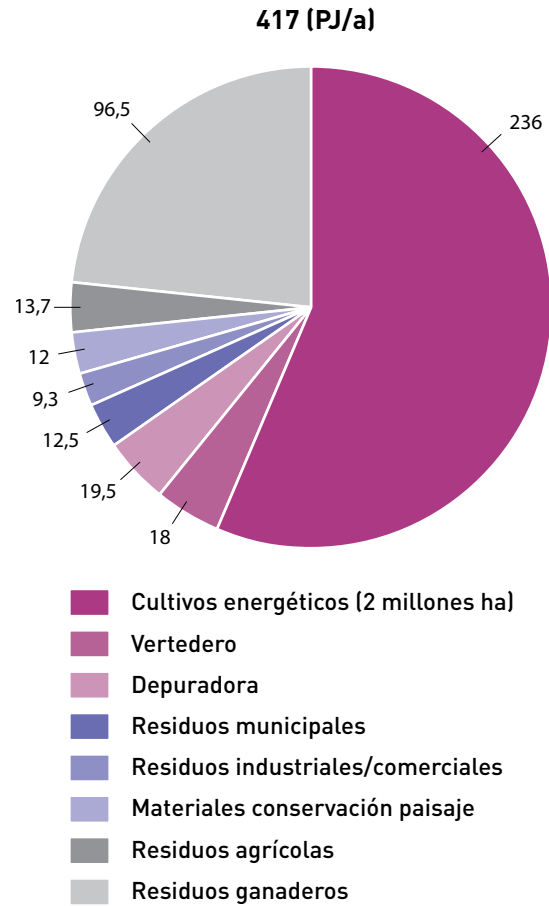
Para realizar estos cálculos el estudio tomó como referencia que 1 millón de MWh/año (86 ktep/año) equivalen a 1.000.000 t/año de silo maíz y 20.000 ha cultivadas.

Figura 12. Potencial (x10⁹ kWh/año) de biogás en Alemania (Ramesohl, 2006)



Otros estudio (FNR) cifra el potencial de Alemania en 417 PJ/año (9.958 ktep/año) de los que 9,3 PJ/año (222 ktep/año) corresponden a residuos industriales/comerciales y 96,5 PJ/año (2.269 ktep/año) a residuos ganaderos.

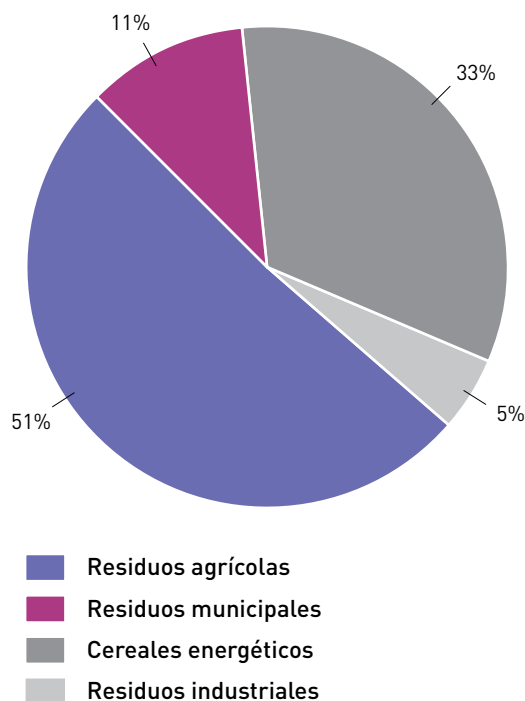
Figura 13. Potencial (x10⁹ kWh/año) utilizable de biogás en Alemania (FNR, 2006)



Materias primas

Según datos aportados por la Asociación Alemana de Biogás, en la distribución de las materias primas actualmente empleadas para la producción de biogás predominan los residuos agrícolas y ganaderos (51%), seguido de los cultivos energéticos (33%), residuos municipales (11%) e industriales (5%).

Figura 14. Distribución de materias primas (%) para biogás en Alemania (Wilken, 2009)



Se estima que más del 90% de las plantas de biogás agroindustrial en Alemania utilizan ya los cultivos energéticos (en co-digestión o en monofermentación), entre los que destaca fundamentalmente el maíz. Y dos tercios de todas ellas emplean más del 50% de cultivo energético en la mezcla alimentada al digestor.

Ordenanza de biomasa (Biomasseverordnung – BiomasseV), 2001

Esta disposición especifica los tipos de biomasa que se permite utilizar para poder acogerse al sistema de incentivos de la Ley de Energías Renovables (*Erneuerbaren Energien Gesetz, EEG*). Reconoce el biogás como biomasa siempre que en su producción no se hayan utilizado los siguientes materiales: residuos urbanos y asimilables a urbanos, fangos y sedimentos de los puertos, subproductos animales no utilizables en plantas de biogás según el Reglamento SANDACH (y además los materiales de categoría 3 de las letras c y k), o lodos de depuración en un porcentaje superior al 10% en peso. La referencia a esta normativa es la siguiente: *Verordnung über die Erzeugung von Strom aus Biomasse vom 21. Juni 2001, zuletzt geändert durch die 1. Verordnung zur Änderung der Biomasseverordnung vom 9. August 2005.*

Por último, cabe destacar la existencia de un decreto sobre gestión de residuos municipales de origen comercial que se aplica a la recuperación y tratamiento de los residuos municipales de origen comercial entre los que se incluyen los residuos de cocinas y de restaurantes (código 20 01 08) y los residuos orgánicos de mercados (código 20 03 02). La referencia a esta normativa es la siguiente: *Verordnung über die Entsorgung von gewerblichen Siedlungsabfällen und von bestimmten Bau- und Abbruchabfällen (Gewerbeabfallverordnung – GewAbfV) vom 19. Juni 2002.*

Marco tarifario. EEG 2009

Las tarifas se garantizan desde el inicio de 2009 hasta los siguientes 20 años de acuerdo a una tarifa fija. Las plantas que inicien su operación más tarde están sujetas a tarifas más pequeñas de acuerdo a un ratio de reducción anual del 1%. En comparación con la última modificación (2004), la EEG 2009 introduce los siguientes cambios:

- La tarifa base se incrementa tanto para plantas existentes como nuevas, para plantas de hasta 150 kWe de potencia en 1 c€/kWh hasta 11,67 c€/kWh.
- El bono de cultivos para plantas de hasta 500 kWe, se eleva de 6 a 7 c€/kWh independientemente del año en que iniciaron su operación. Plantas de mayor potencia (hasta 5 MWe) mantienen el bono de 4 c€/kWh para el tramo superior a los 500 kWe.

Un aspecto novedoso es la flexibilización del criterio de uso exclusivo de cultivos energético y purines en las plantas que se beneficiaban de este bono. Incluye ahora la posibilidad de emplear, además de cultivos y purines, subproductos vegetales que estén incluidos en una lista positiva. No obstante el bono se aplica tan solo a la proporción de electricidad que proceda de los cultivos energéticos y los purines. Las listas positiva y negativa así como la definición de cultivo energético están incluidas en el Anexo 2. Para determinar los porcentajes se toman como base producciones standard publicadas en la ley por tipo de subproducto y se requiere prueba de ello mediante la opinión técnica de un verificador medioambiental. Es obligatorio mantener un libro de registro de materias primas. La novedad es aplicable a plantas existentes.

- Se eleva el bono de conservación del paisaje en 2 c€/kWh. Un experto en medio ambiente debe certificar el uso en la planta de plantas o partes de plantas procedentes de las actividades de conservación paisajística.

- Bono de purines. 4 c€/kWh para plantas de menos de 150 kWe, y 1 c€ para plantas entre 150 y 500 kWe de potencia eléctrica instalada. Para beneficiarse del bono, al menos el 30% (sobre masa) debe ser purín. El porcentaje debe ser verificado por experto medioambiental. No se puede reclamar este bono para la electricidad generada en plantas que usan gas natural.
- Bono tecnológico (procesado del biogás). Ver Tabla 29.
- Bonoformaldehído. 1 c€/kWh si el límite de formaldehído no supera el límite de 40 mg/m³ de acuerdo con la normativa de calidad del aire alemana. Es aplicable también a plantas existentes hasta 500 kW. El cumplimiento debe ser certificado por una autoridad pública competente.
- Bono co-generación. 0/2/3 c€/kWh según la potencia de la planta, el momento de la puesta en marcha y el uso del calor. Se resume en la siguiente tabla.

Tabla 27. Bono co-generación

	Nuevas plantas	Plantas existentes	Uso del calor de acuerdo con:
Plantas P ≤ 20 MWel; inicio producción post. a 31-12-09	3	3	EEG 2009
Plantas existentes P ≤ 500 kWel	-	3	EEG 2009
Plantas existentes P ≤ 20 MWel	-	2	EEG 2004

Tabla 28. Compensaciones de la nueva ley de energías renovables alemana EEG, 2009 para el aprovechamiento energético del biogás (Wilken, FNR, 2009).

Biogás	Tamaño de la planta	Hasta 2009 (c€/kWh)	Desde 2009 (c€/kWh)	Diferencia respecto tarifa anterior (c€/kWh)
Tarifa base	≤ 150 kW	10,67	11,67	1,00
	≤ 500 kW	9,18	9,18	-
	≤ 5 MW	8,25	8,25	-
Bono formaldehído	≤ 150 kW	-	1,00	1,00
	≤ 500 kW	-	1,00	1,00
Bono cultivos	≤ 500 kW	6,00	7,00	1,00
	≤ 5 MW	4,00	4,00	-
Bono de purines	≤ 150 kW	-	4,00	-
	≤ 500 kW	-	1,00	-
Bono uso calor	-	2,00	3,00	1,00
Bono conservación paisaje	≤ 150 kW	-	2,00	2,00
	≤ 500 kW	-	2,00	2,00

(Continuación)

Biogás	Tamaño de la planta	Hasta 2009 (c€/kWh)	Desde 2009 (c€/kWh)	Diferencia respecto tarifa anterior (c€/kWh)
Bono co-generación	≤ 150 kW		0/2/3	
	≤ 500 kW		0/2/3	
	≤ 5 MW		0/2/3	
Bono tecnologías innovadoras (no incluye procesado de biogás)	≤ 150 kW	2,00	2,00	-
	≤ 500 kW	2,00	2,00	-
	≤ 5 MW	2,00	2,00	-
Bono procesado biogás a biometano**	Planta nueva (según caudal de biogás tratado: 350/700 Nm ³ /h)		2,00/1,00	
	Planta vieja	2,00	2,00	-

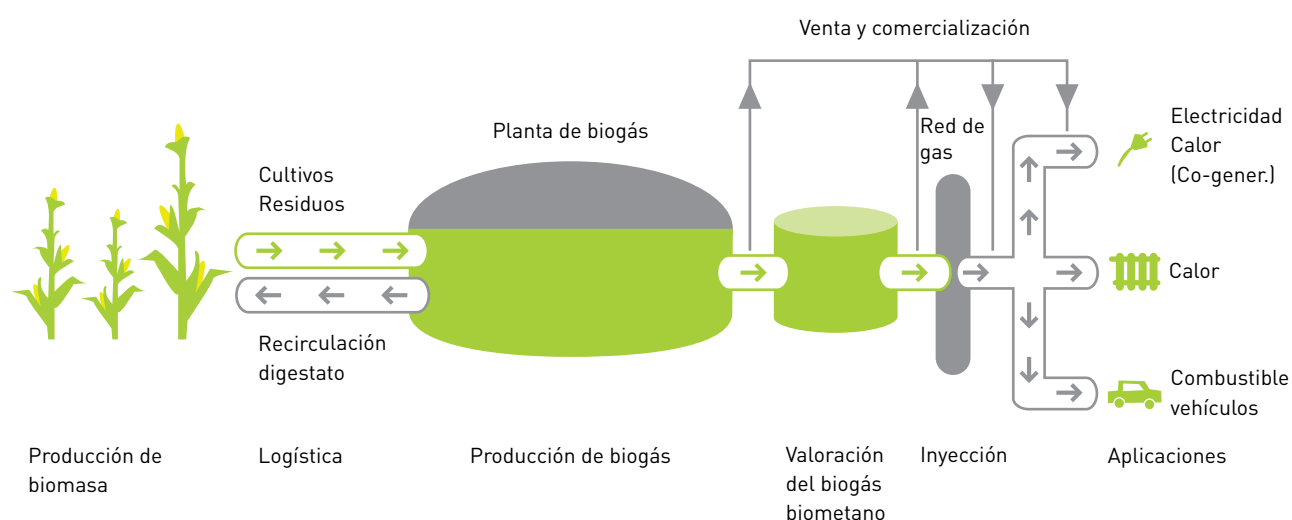
Tarifas fijas durante 20 años. Disminución del 1% (incluido bonos, a partir de los 20 años, con la nueva normativa EEG, 2009).

A través del Programa de Incentivo del Mercado Alemán (*Marktanreizprogramm*, MAP), se apoyan grandes proyectos a través de préstamos con una tasa de interés reducida, administrada por el Banco Alemán KfW.

Inyección de biometano en la red de gas natural

La cadena de valor de la producción de biogás, valorización a biometano y su inyección en la red de gas se esquematiza en la siguiente figura:

Figura 15. Esquema inyección de biogás en red de gas natural (adaptado de Biogaspartner, 2009)



El tratamiento de valorización del biogás a biometano suele incluir en primer lugar un filtrado de partículas y una etapa de deshumidificación y desulfurización. Para obtener el biometano se separa el CO₂ pudiendo emplear distintas tecnologías como el lavado con agua a presión, PSA (*Pressure Swing Adsorption*), lavado con selexol, separación con membranas, proceso a baja temperatura (criogenia), etc.

La inyección del biometano en la red es una solución ideal para resolver el problema de la distancia entre el punto de generación del gas y el de su uso. Los compresores juegan un papel clave ya que regulan la presión ejercida por el biometano en la red. Desde la publicación de la Ordenanza *GasNZV* en marzo de 2008, los productores de biometano pueden mezclar su producto en la red de gas natural empleada por los operadores habituales.

Evolución y situación actual

Las dos primeras plantas de valorización e inyección del biogás en la red de gas natural se pusieron en marcha a finales de 2006. En 2007, se construyeron cinco nuevas plantas. En la actualidad (noviembre de 2009), 23 plantas alimentan biometano a la red y para finales de año se espera la conexión de un total de 44 plantas con una capacidad de 23.900 m³ biometano/hora. En cuanto a las tecnologías de valorización empleadas en las 23 plantas en funcionamiento, 10 lo hacen con la tecnología PSA, 5 con *scrubbing* de agua a presión, 6 con *scrubbing* químico y no se dispone información de las dos restantes.

Hasta la fecha, sólo dos proyectos de biometano (*Jameln and Bottrop*) producen biometano para su uso directo como biocarburante. Casi todos los demás proyectos generan el biometano para aplicaciones de co-generación. Sólo una pequeña parte se vende mezclado con gas natural a consumidores finales de gas natural o en gasolineras.

Según la Agencia Alemana de Energía, con las 44 plantas previstas a finales de 2009 se podrían generar e inyectar a la red casi 1.900 millones de kWh de biometano. Esta cantidad de energía sería suficiente para cubrir la demanda energética de calor y agua caliente para 90.000 hogares de cuatro miembros con un consumo anual de 20.000 kWh de gas natural. Si el biometano producido se empleara como biocarburante, podría alimentar 112.500 coches con motor de gas natural con un kilometraje de 20.000 km/año.

Este crecimiento es consecuencia de los cambios en el marco legal alemán en la materia.

Disponible información (en inglés) sobre las características técnicas y los costes de inversión de todas estas plantas en la página web www.biogaspartner.de. La página también recoge un resumen de la principal normativa que se describe a continuación.

La ordenanza GasNZV, 2008

El 12 de marzo de 2008, el gobierno federal alemán aprobó la nueva Ordenanza de Inyección en la Red de Gas (*Gasnetzzugangsverordnung – GasNZV*) con el objeto de promover la inyección de biometano en las redes de gas natural de Alemania. El objetivo de esta ordenanza es sustituir un 10% del consumo del gas natural por biometano para el año 2030. Uno de los principales aspectos regulados es la preferencia de acceso a la red de gas. De acuerdo con el punto 41c de la *GasNZV*, todos los operadores de gas natural están obligados a dar acceso preferente a la red a aquellas plantas de biogás que lo soliciten. Los costes de enganche se dividen al 50% entre el operador y el proveedor de biometano. De acuerdo con el punto 41b, el enganche consta de la tubería de conexión (hasta 10 km), el contador de gas, el compresor y el analizador calibrado de gas. El operador es el propietario del enganche y cubre los costes de mantenimiento y operación. Además, la *GasNZV* establece que el operador tiene obligación de aceptar la entrada del biometano siempre que ésta se realicen en las condiciones de calidad y seguridad establecidas en la normativa. Según el punto 41d, la conexión no puede ser rechazada por el operador por no tener de capacidad de admisión e incluso está obligado a tomar las medidas técnicas y económicas necesarias para asegurar y optimizar dicha capacidad de admisión. La normativa también regula el sistema de facturación del biometano a la red y su flexibilidad ante posibles fluctuaciones en su entrega a la red durante la explotación.

Ordenanza GasNEV, enmienda para el biogás (abril 2008)

La ordenanza *GasNEV* regula el método para la determinación de las tarifas de acceso a la red de gas. En abril de 2008 se aprobó una enmienda para regular la nueva política de inyección del biogás a la red.

El punto 20a de la *GasNEV* establece que los operadores de gas pagarán a los proveedores de biometano 0,7 c€/kWh en la medida que la inyección

descentralizada de gas les ahorra costes de gestión de red. La concesión es independiente del tipo o presión de la red de gas.

Tipos de red y normas DVGW

En Alemania hay dos tipos de redes de gas, la denominada H-Gas (*High Caloric-Gas*), que tiene un porcentaje elevado de metano entre 87 Vol.-% y 99,1 Vol.-% mientras que la red denominada L-Gas (*Low Caloric-Gas*) tiene por regla general sólo entre 79,8 y 87 Vol.-%. Además el H-Gas tiene una parte inferior de N₂ y CO₂.

Los requisitos sobre la composición y las características de combustión de los gases presentes en la red de gas pública se incluyen en las fichas técnicas de la Sociedad Alemana del Sector del Gas y del Agua (DVGW). Las que afectan a la inyección de biometano en la red de gas son las siguientes: DVGW 260 (Gas Composition), DVGW G 262 (*Utilisation of gases from renewable sources in the public gas supply*), DVGW G 280 -1 (*Gas Odorisation*), DVGW G 280-2 (*Adjustment of the odorisation of gases in the public supply*), DVGW 685 (*Gas Accounting*), DVGW Audit Basis VP 265-1 (*Plants for the conditioning and feeding-in of biogas into natural gas grids*).

La norma básica sobre la calidad del gas procedente de fuentes renovables es la G 262 y si el gas se inyecta en una red pública de gas debe de cumplir los requisitos de la G 260. El suministrador de biometano es responsable de garantizar que la composición se ajusta a lo establecido en las fichas técnicas. La ordenanza GasNZV hace referencia a las fichas técnicas G 260 y G 262.

Bono tecnológico (procesado del biogás), EEG 2009

La Ley de Fuentes de Energías Renovables (EEG) que está en vigor desde el 1 de enero de 2009 en Alemania estableció un bono tecnológico a sumar a la tarifa básica para aquellas plantas que procesen el biogás a calidad de gas natural y que cumplan los siguientes requisitos:

- 0,5% como máximo porcentaje de emisiones de metano a la atmósfera durante el procesado del gas.
- 0,5 kWh/Nm³ biogás crudo tratado, de máximo consumo de electricidad durante el procesado del gas.
- El calor para el procesado del biogás debe proceder de fuentes renovables, gas de mina o calor

perdido durante el tratamiento o alimentación de la planta, sin uso adicional de energía fósil.

- 700 Nm³ biogás/h, capacidad máxima de tratamiento de la instalación

Las tarifas aplicadas son las siguientes:

Tabla 29. Bono tecnológico (procesado del biogás), EEG 2009

Máxima capacidad de tratamiento de biogás	Hasta 350 Nm ³ biogás/h	Hasta 700 Nm ³ biogás/h
Bono para nuevas plantas ¹	2,0 c€/kWh	1,0 c€/kWh

¹En plantas de capacidad máxima de 5 MWe.

En plantas existentes de hasta 20 MWe que iniciaron su actividad desde la última modificación de la EEG en 2004, se mantiene el bono de 2 c€/kWh.

El programa de ayudas MAP

El Programa de Incentivación del Mercado (*Marktanzreizprogramm*, MAP) es uno de los instrumentos del Gobierno Federal para apoyar la producción de calor con fuentes renovables. El programa presta apoyo a las plantas de valorización de biogás y a tuberías de biogás sin acondicionar (microrredes de gas).

Las plantas con una capacidad de hasta 350 Nm³/h de biometano cuentan con una subvención de hasta el 30% de los costes de inversión. Las tuberías o gaseoductos de biogás crudo (de al menos 300 metros de longitud) pueden ser también apoyadas, incluyendo el compresor, la unidad de secado del gas y los elementos de condensación.

Digestatos

La principal normativa a tener en consideración en materia de gestión de digestatos es la siguiente:

Decreto de buenas prácticas agrícolas en la aplicación de fertilizantes

Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen, Vom 27. Februar 2007 (Düngeverordnung – DüV).

Reglamentación que transpone la Directiva 91/676/CE, relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura.

Los residuos de la digestión anaerobia tanto de cultivos energéticos como de deyecciones ganaderas son en general clasificados como fertilizantes agrícolas debido a que el material de entrada en las plantas de biogás procede de explotaciones ganaderas, esto es, tiene un origen agrícola y ganadero. Tampoco existen restricciones higiénicas para digestato a partir de deyecciones ganaderas y material vegetal. Uno de los aspectos que regula es el período de aplicación y la cantidad de fertilizante aplicado cada año.

Decreto sobre el aprovechamiento de biorresiduos en la agricultura

Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden, Vom 21. September 1998 - Bioabfallverordnung (BioAbfVO).

En el caso de utilizar como sustrato en una planta de biogás un residuo declarado como "residuo orgánico" o "biosólido", el digestato se ve afectado por determinados requerimientos de esta reglamentación. Asimismo, el digestato procedente de la utilización de residuos HORECA también se ve afectado por esta reglamentación.

El operador de planta debe analizar el digestato cada 3 meses de acuerdo con la documentación requerida. Sin embargo, cada 2.000 t de biomasa suministradas a la planta de biogás, requieren el análisis de concentración de metales pesados, valor de pH, concentración de sales y contenido de materia seca así como materia orgánica en base seca.

Además, algunos de los requerimientos hacen referencia a la obligación de realizar un test sobre contenido en metales pesados en el digestato previamente a su aplicación agrícola (según la concentración de metales pesados del suelo se restringe la máxima cantidad de digestato a aplicar).

Para todos los residuos biológicos debe documentarse el origen, tratamiento y vertido. De acuerdo con esta regulación, el operador de planta debe verificar el efecto de su proceso de higienización.

Sistema de control y certificación de digestatos

*Bundesgütegemeinschaft Kompost (BGK)*⁴, es el organismo que se encarga del control de calidad del

digestato. Considera las características del sustrato, las condiciones del proceso de digestión anaerobia así como las características del digestato, y aplica una determinada etiqueta según el origen del sustrato (RAL GZ 245 ó 246; ésta última para el digestato que proviene de una planta de biogás que utiliza como sustratos estiércol y purín de origen animal, cultivos energéticos, residuos de conservación del paisaje y paja).

En 2008, más de 500 miembros formaban esta organización: 425 plantas de compostaje, 67 plantas de digestión anaerobia y 13 plantas de compostaje de lodos. A través de un sólido control de calidad y un apoyo (a nivel de marketing y aplicación en los sectores) a los productores de compost y digestato, la organización ha promovido el compostaje y la digestión anaerobia como un elemento de gestión sostenible de los biorresiduos. Esto ha permitido una normalización de la calidad de los productos del digestato y una mejora la imagen de venta del producto.

Este sistema ha contribuido a la rápida aceptación del digestato como fertilizante orgánico apto para uso agrícola, a una clara distinción entre los criterios de certificación para el digestato y para los lodos procedentes de depuración, y a una legislación para el uso agrícola de éstos productos. El sistema ha mejorado la viabilidad de las plantas de biogás en Alemania (ingresos por la venta de digestato) y ha contribuido al desarrollo de las plantas de biogás agroindustrial descentralizadas en dicho país.

Normas técnicas de construcción de plantas de biogás

Existe abundante normativa técnica (normas DIN, guías sobre seguridad en plantas de biogás, etc.) que ha sido elaborada por diversos organismos alemanes durante el transcurso de los últimos años, lo que ha contribuido a la difusión de los aspectos relativos a la construcción de las plantas de biogás de una forma organizada y revisada por organizaciones con experiencia en proyectos constructivos. Por ejemplo, las normas relativas a la construcción de las plantas de biogás: DIN 1045, DIN 1046 y DIN 1162, regulan los requisitos específicos que debe cumplir el hormigón que se utiliza para la construcción de los digestores de las plantas de biogás.

⁴BGK es la empresa de la "etiqueta RAL de calidad para el compost, digestato y lodos compostados". BGK está reconocido por el Instituto Alemán para la Certificación y Garantía de la Calidad (RAL), organización encargada del control de las etiquetas de calidad en Alemania

Reglamentación referente a la seguridad en el trabajo y frente a riesgo de explosión

Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Bereitstellung von Arbeitsmitteln und deren Benutzung bei der Arbeit, über Sicherheit beim Betrieb überwachungsbedürftiger Anlagen und über die Organisation des betrieblichen Arbeitsschutzes (Betriebssicherheitsverordnung – BetrSichV). 27.09.2002.

BGR 104, *Explosionsschutz-Regel* (norma relativa a la seguridad frente a riesgo de explosión en las condiciones de trabajo de las plantas de biogás).

Desarrollo de I+D propia en el país

Entre los principales **centros de investigación** alemanes en materia de biogás se encuentran los siguientes: *Federal Agricultural Research Centre (FAL)*, *Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)*, *Technische Universität München*, *Humboldt-Universität zu Berlin*, *Brandenburgische Technische Universität Cottbus*, *DBFZ Deutsches BiomasseForschungszentrum gemeinnützige*, *Technische Universität Hamburg*, *Universität Hohenheim*, *Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL) – Thüringer Zentrum Nachwachsende Rohstoffe*, *Fachhochschule Aachen – Institut für Nano- und Biotechnologien*, *Prüf- und Forschungsinstitut Pirmasens*, *Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg*, *Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim (ATB)*, *Johann Heinrich von Thünen-Institut Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei – Institut für Agrartechnologie und Biosystemtechnik*, entre otros.

Los programas que incentivan la investigación en materia de biogás (como ejemplo: *Förderprogramm Nachwachsende Rohstoffe*) pretenden optimizar la producción de biogás y consideran tanto aspectos económicos como ecológicos. Para ello, las **líneas prioritarias para futuros desarrollos en I+D** se centran en:

- Evaluación de la aptitud de diversos sustratos animales y vegetales en relación con su aprovechamiento como sustratos para la producción de biogás.
 - Aumento de la eficiencia para la producción combinada de energía térmica y eléctrica en las plantas de biogás: nuevas configuraciones y sistemas de digestores; automatización y control de operación; optimización biotecnológica del proceso; optimización de la logística del proceso.
 - Mejora de la calidad del biogás (depuración del biogás).
 - Optimización del aprovechamiento en microturbinas, pilas de combustible (desarrollo y mejora del aprovechamiento del biogás en sistemas estacionarios), inyección en red de gas natural y uso del biogás como combustible en vehículos.
- Los proyectos desarrollados con fondos públicos (*Bundesministeriums für Bildung und Forschung; Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit; Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie; Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz*) suelen tener una duración entre 1 y 3 años, si bien existen algunos proyectos con una duración superior.
- La consulta de las bases de datos disponibles (*FNR, FörderKatalog* y *Cordis*) permite analizar las principales líneas de I+D y los proyectos de desarrollo tecnológico alemanes:
- Intensa investigación en relación con la optimización de la producción de biogás aprovechando los cultivos energéticos:
 - Optimización de la producción de cultivos aprovechados como sustratos en la generación de biogás. Proyecto ejemplo: *Optimierung des Anbauverfahrens Ganzpflanzengetreide, inklusive Arten- und Sortenmischungen für die Biogaserzeugung*. (2008-2011).
 - Cinética del proceso de digestión anaerobia y modelización. Proyecto ejemplo: *Kinetik der Biogasgewinnung aus nachwachsenden Rohstoffen bei kontinuierlicher Prozeßführung als Grundlage für die Bemessung von landwirtschaftlichen Biogasanlagen*. (2003-2006).
 - Modelización y balance de distintos procesos de ensilado de cultivos en la producción de biogás. Proyecto ejemplo: *Fortgeschrittenes Konservier- und Aufschlußverfahren für Grünmassen; Modellierung und Bilanzierung der Biogasbildung und Ableitung des weiteren FuE-Bedarf für verschueden Silierungsprozesse*. (2008-2009).
 - Intensificación de la degradación anaerobia con objeto de incrementar la producción de metano. Proyecto ejemplo: *Intensivierung des anaeroben Biomasseabbaus zur Methanproduktion aus NaWaRo. Erfassung funktioneller hydrolytischer Netzwerke in Biogasanlage mittels Microarraytechnologie*. (2006-2009).
 - Desarrollo de enzimas para la mejora de la producción y la calidad en la producción de biogás. Proyecto ejemplo: *Entwicklung eines enzymatischen Verfahrens zur Verbesserung von Ausbeute und Qualität bei der Biogaserzeugung aus pflanzlicher und tierischer Biomasse*. (2005-2006).

- Nuevas configuraciones y sistemas de digestores. Proyecto ejemplo: *Grundlagen der Biogasgewinnung aus pflanzlicher Biomasse: Untersuchungen zur Entwicklung eines optimalen Verfahrens zur Vergärung von Biogas-Crops (Roggensilage) durch zweistufige Prozeßführung mit Bioleaching*. (2005-2009). Optimización de la producción de biogás a partir de centeno ensilado en un sistema en dos fases mediante biofiltros.
- Control de parámetros de proceso y métodos de estabilización:
 - Detección precoz y subsanación de desequilibrios de proceso, según diversas consideraciones en relación con el ácido propiónico⁵. Proyecto ejemplo: *Früherkennung und Behebung von Fehlgärungen zur Erhöhung der Prozesssicherheit und Schadensverhütung in Biogasanlagen unter besondere Berücksichtigung der Propionsäurebildung*. (2008-2011).
 - Optimización del funcionamiento de digestores mediante control de proceso a través de sensores. Proyecto ejemplo: *Dynamische Regelung von Prozessen zur Vergärung nachwachsender Rohstoffe unter Verwendung eines Propionsäureerkennenden Gas-Sensor-Arrays*. (2006-2009).
 - Medida y captación de hidrógeno⁶ para la optimización del proceso de producción. Proyecto ejemplo: *Prozessoptimierung der Biogaserzeugung mittels innovativer Mess- und Regelungstechnik zur Erfassung des gelösten Wasserstoffs als mikrobielles Schlüsselintermediat; Sensoren zur Langzeitmessung des gelösten Wasserstoffs in Biogasanlagen*. (2008-2010).
 - Influencia del control del límite del potencial Red-ox. Proyecto ejemplo: *Das Redoxpotential in Biogasanlagen: messbare Regelgröße zur Beurteilung des Fermenterzustandes und Beeinflussung des Biogasprozesses durch gezielte Veränderung des Redoxwertes*. (2008-2010).
 - Aplicación de aditivos para equilibrio en el proceso de digestión anaerobia de cultivos energéticos. Proyecto ejemplo: *Einsatz von Spurenelementen in NaWaRo-beschickten Biogasanlagen zum Ausgleich substratbedingter Mangelerscheinungen und zur Stabilisierung des Gärprozesses*. (2008-2011).
- Caracterización de la diversidad microbológica del proceso de digestión anaerobia (sustratos: maíz o nabo) y desarrollo de métodos cuantitativos de análisis biológico molecular. Proyecto ejemplo: *Entwicklung einer schnellen, quantitativen molekularbiologischen Systemanalyse von Biogasreaktoren*. (2007-2010).
- Nuevos aprovechamientos del biogás:
 - Acondicionamiento del biogás para aprovechamiento en pilas de combustible. Proyecto ejemplo: *Effiziente Aufbereitung von Biogas zur Verstromung in PEM-Brennstoffzellen*. (2006-2008).
 - Desarrollo de pilas de combustibles para aprovechamiento de biogás. Proyecto ejemplo: *Errichtung und Betrieb einer MCFC-Brennstoffzelle mit Biogas in Leonberg*. (2005-2009).
 - Inyección del biogás en la red de gas natural. Análisis y evaluación de las distintas posibilidades para inyección en la red de gas natural. Proyecto ejemplo: *Evaluierung der Möglichkeiten zur Einspeisung von Biogas in das Erdgasnetz*. (2004-2005).
- Aprovechamiento de algas para la producción de biogás. Proyectos ejemplo: *Labor- und halbertechnische Untersuchungen zur Entwicklung eines Algenreaktors für die Anreicherung von Methan in Biogasen der anaeroben Klärschlammfäulung*. (2001-2005). *AlgenBiogas - Entwicklung eines Verfahrens zur biotechnologischen Produktion von Wertstoffen aus CO₂-fixierenden Mikroalgen mit simultaner Methangewinnung*. (2008-2011).
- Implementación del concepto de biorrefinería a nivel de planta piloto (integración de la producción de biodiésel y de biogás). Ejemplo de proyecto: *Integrated bioconversion of glycerine into value-added products and biogas at pilot plant scale*. (2008-2010). El objetivo del proyecto consiste en desarrollar bioprocesos integrados para convertir glicerina a partir de la producción de biodiésel en biogás y obtener además dos productos con valor añadido 1,3-propanediol (PDO) y un producto fertilizante.

Además, existen proyectos a nivel federal (*Bundesmessprogramm zur Bewertung neuartiger Biomasse-Biogasanlagen; 2005-2009*), que tienen como objetivo evaluar un número suficientemente representativo de plantas de biogás (potencia, funcionamiento, rentabilidad, etc.), las cuales aprovechan los cultivos energéticos y reciben el incentivo conocido como *NaWaRo-Bonus* por utilizar los cultivos energéticos.

⁵Producto intermedio del proceso de digestión anaerobia, si se superan determinados valores se produce fallo en el proceso y se detiene el mismo

⁶Producto intermedio clave para los microorganismos

8.1.3 Italia

Producción de biogás

A finales de 2008 se encontraban en operación un total de 115 plantas de biogás agroindustrial. Este número representa un incremento en 43 unidades con respecto a 1999 y 78 unidades si se consideran las plantas en fase de construcción.

Tabla 30. Número de plantas en operación (Piccinini, 2008)

Años en operación de las plantas	Número de plantas
> 16 años	10
5 - 15 años	59
< 5 años	31
Dato no disponible	15
Subtotal plantas en operación	115
En construcción	22
Esperando autorización	17
Total	154

A finales de 2008, un total de 22 plantas estaban en fase de construcción y 17 se encontraban en trámites de autorización. En la mayoría de los casos, las plantas se ubican en las regiones del norte de Italia. Las áreas donde se ubican son aquellas en las cuales existe una mayor concentración de explotaciones ganaderas, tales como Lombardía, Emilia-Romana y Veneto. Algunas plantas están siendo construidas en áreas con cantidades significativas de residuos orgánicos agro-industriales en co-digestión con los ganaderos.

El número de plantas es menos significativo en el centro y sur de Italia. Por otra parte, el número de plantas de la provincia de Bolzano está influenciado por su proximidad con Austria y Alemania, además de las amplias políticas de incentivos adoptadas por la Administración de la provincia.

Figura 16. Distribución de las plantas de biogás en Italia (Piccinini, 2008)



CRPA - Reggio Emilia, Italia

En la siguiente tabla se detalla el nombre de las regiones junto con el número de plantas de biogás agroindustrial.

Tabla 31. Distribución de las plantas de biogás por regiones (Piccinini, 2008)

Región	Número de plantas ¹
Lombardía	48
Emilia-Romana	30
Trentino-Alto Adige	34
Véneto	17
Piamonte	6
Toscana	1
Campania	1
Cerdeña	7
Friuli-Venecia Giulia	2
Umbría	2

(Continuación)

Región	Número de plantas ¹
Basilicata	2
Los Abruzos	1
Valle De Aosta	2
Calabria	1

¹Aprovechan como sustratos: deyecciones ganaderas, residuos agro-industriales, biorresiduos y cultivos energéticos. No se incluyen plantas de digestión anaerobia de lodos de depuración de aguas residuales, plantas de biometanización de FORSU o plantas de biometanización que co-digieren lodos de depuradora con FORSU.

El aprovechamiento más habitual del biogás agroindustrial en Italia es su uso en unidades de cogeneración, aunque algunas plantas (8 plantas, generalmente conectadas a queserías para la producción de *Grana Padano* o *Parmigiano-Reggiano*), queman el biogás directamente en una caldera y aprovechan sólo la energía térmica.

Por otra parte, de las 154 plantas que procesan deyecciones ganaderas, residuos agrícolas, residuos agroindustriales y cultivos energéticos, 44 han instalado una potencia eléctrica de menos de 100 kWe mientras que 14 han optado por instalar más de 1 MWe (ver tabla).

Tabla 32. Número de plantas según potencia instalada (Piccinini, 2008)

Potencia eléctrica	Número de plantas
< 100 kWe	44
110 – 500 kWe	28
500 – 1000 kWe	19
> 1 MWe	14
Biogás aprovechado en calderas	8
Datos no disponibles	41
Total	154

Aproximadamente un 60% de las plantas de las que se dispone de datos cuentan con una potencia instalada inferior a 1 MW; la mayoría de estas instalaciones son por tanto plantas descentralizadas y localizadas cerca de zonas donde existen explotaciones ganaderas.

Un estudio de prospectiva realizado en 2009, y que analiza la situación del biogás agroindustrial en Italia, señala que la mayoría de las plantas de biogás agroindustrial se caracterizan por ser instalaciones muy sencillas y de bajo coste, muchas de ellas construidas mediante cubierta del tanque de almacenamiento de las deyecciones ganaderas.

Este tipo de instalaciones predominan en el caso del biogás agroindustrial debido principalmente a aspectos administrativos (complejidad en el procedimiento de autorización) y legislativos (hasta 2007 no existía la posibilidad de acogerse al sistema de "tariffa fissa omnicomprensiva" y sólo existía la posibilidad del sistema de certificados verdes). En relación con dichos aspectos, los costes más altos tanto de inversión como de mantenimiento que llevan consigo las instalaciones más complejas, modernas y eficientes, no han podido ser abordados por los ganaderos con explotaciones de tamaño pequeño y medio. Por ello, tanto el número como una mayor potencia en este tipo de instalaciones de biogás descentralizadas no han proliferado en Italia.

No obstante, las perspectivas de desarrollo del biogás en determinadas regiones de Italia, particularmente en Lombardía y Emilia-Romaña, son más favorables debido fundamentalmente al apoyo de las respectivas Administraciones. En dichas regiones, existe una gran cantidad de explotaciones de cría intensiva, y resulta especialmente apropiada la aplicación de la tecnología de digestión anaerobia.

Tabla 33. Producción italiana de biogás agroindustrial (IEE, 2007)

Tipo de sustrato	Producción de biogás (GWh)				
	2001	2002	2003	2004	2005
Deyecciones ganaderas	9,8	16,3	13,2	18,5	25,7
Cultivos energéticos y residuos agroindustriales	5,3	101,9	106,5	112,1	116,8

(Continuación)

Materias primas

Desde la década de los 90 el incremento de plantas que han aprovechado los beneficios de la co-digestión se ha incrementado, no obstante, el número de plantas que utilizan únicamente purín de porcino o de vacuno como sustrato es elevado y representa más de la mitad de las plantas de biogás agroindustrial instaladas en Italia (ver Tabla 34).

Tabla 34. Número de plantas según tipo de sustrato (Piccinini, 2008)

Tipo de sustrato	Número de plantas
Sólo purín de cerdo	44
Sólo purín de vacuno	38
Co-digestión de purín de cerdo y de vacuno	5
Purín de cerdo y/o de vacuno y/o gallinaza co-digerido con residuos orgánicos ¹ y cultivos energéticos	35
Purín de cerdo y/o de vacuno y/o gallinaza co-digerido con cultivos energéticos	20
Cultivos energéticos co-digeridos con residuos orgánicos	9

Tipo de sustrato	Número de plantas
Gallinaza co-digerida con residuos orgánicos y/o cultivos energéticos	3
Total	154

¹Residuos orgánicos incluye residuos agro-industriales y biorresiduos

Certificados verdes

El mercado de los certificados verdes⁷ está regulado vía *Gestore Mercato Elettrico* (organismo creado en 2004 por el *Gestore dei Servizi Elettrici*). Los productores de energía eléctrica están obligados a garantizar que un porcentaje de la misma (cuota) está generada a partir de fuentes renovables. Para ello, pueden comprar certificados verdes a productores individuales de energía. La legislación más importante en relación con los certificados verdes se detalla a continuación:

- *Legge 24 Dicembre 2007, n° 244. Disposizioni per la formazione del bilancio annuale e pluriennale dello Stato. Legge finanziaria 2008 (L. 244/07).*
- *Decreto Legislativo 3 Aprile 2006, n° 152. "Norme in materia ambientale" (DL 152/2006).*
- *Delibera n° 34/2005. Modalità e condizioni economiche per il ritiro dell'energia elettrica (AEEG 34/05).*
- *Decreto 24 Ottobre 2005. Aggiornamento delle direttive per l'incentivazione dell'energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili (DM 24/10/05).*

⁷En el Sistema de cuota o certificados verdes, los productores e importadores de electricidad están obligados a demostrar que una cierta cuota de la electricidad producida o importada fue generada a partir de fuentes renovables

- Decreto 14 Marzo 2003. *Attivazione del mercato elettrico, limitamente alla contrattazione dei certificati verdi (DM 14/03/03).*
- Decreto 11 Novembre 1999. *Direttive per l'attuazione delle norme in materia di energia elettrica da fonti rinnovabili (DM 11/11/99).*
- Decreto Legislativo 16 Marzo 1999, n° 79 "Decreto Bersani" (DL 79/99).

En el caso de las plantas de biogás, las que realizaron la conexión a la red eléctrica entre el 1 de abril de 1999 y el 31 de diciembre de 2007, reciben los certificados durante un período de 12 años (DM 24/10/05; DL 152/2006), mientras que las plantas que realizaron la conexión después del 31 de diciembre de 2007 reciben los certificados durante un período de 15 años (L 244/07). El valor del certificado verde fluctúa constantemente. El valor medio en 2008 fue de 112,88 €/MWh.

El sistema de certificado verde es el único posible para las plantas de potencia superior a 1 MW, mientras que las de potencia inferior a esa cantidad pueden elegir entre el certificado verde y la tarifa regulada.

Tarifa regulada

Legge 29 Novembre 2007, n° 222. "Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 1° Ottobre 2007, n° 159, recante interventi urgenti in materia economico-finanziaria, per lo sviluppo e l'equità sociale" (L 222/07).

La producción de energía eléctrica generada a partir de biogás agroindustrial (sustratos: productos agrícolas, de alimentación y forestales), en el caso de potencias inferiores a 1 MW e introducida en el sistema eléctrico, tiene derecho a una alternativa al certificado verde, y a petición del productor, a una tarifa fija global de 0,30 euros por cada kWh, por un período de quince años. Esta tarifa puede ser variada, cada tres años, con decreto del Ministerio de Desarrollo Económico en acuerdo con el Ministerio de Políticas Agrícolas, Alimentarias y Forestales, siempre que sean adecuadas las remuneraciones con el fin incentivar el desarrollo de tales fuentes.

Políticas

La política italiana de incentivación de la tecnología del biogás se ha traducido en la elaboración de una normativa abundante que aborda aspectos de diversa índole:

- Fiscales (*Finanziaria 2006 y 2007*).
- Energéticos (Promoción de la energía procedente de fuentes renovables. *D. Legislativo 387/2003; Leggi n° 222/2007; Leggi 244/2007*).
- Ambientales (*D. Legislativo 152/06; D. Legislativo 4/2008*).
- Organizativos (*D. Legislativo 387/2003; "autorizzazione unica"*; simplificación del procedimiento de autorización).

El principal mecanismo para la promoción del biogás ha estado ligado a los incentivos económicos, a través del Sistema de certificados verdes. Además, se incrementa la cuota de energía eléctrica producida a partir de energías renovables cada año.

- Se ha producido un incremento apreciable de la cuota⁸ respecto el 2% inicial (DL 79/99), especialmente durante los últimos años. Desde 2004 a 2006, la cuota de 2% por 100 GWh (de energía producida o importada) se incrementó 0,35 puntos porcentuales por año. Mientras que desde 2007 a 2012, la cuota de 2% por 100 GWh se incrementa 0,75 puntos porcentuales. El cálculo de la cuota se basa en la cantidad de energía producida o importada el año anterior (DL 387/03).

Barreras encontradas para la aplicación de la tecnología

Económicas:

- Coste de inversión para la construcción de plantas de biogás excesivamente elevado y tiempo de retorno de la inversión elevado (más de 5 años). Además, existe reticencia respecto a la concesión de préstamos por parte de las entidades financieras.
- Incertidumbre respecto a los incentivos por venta de energía eléctrica debido al sistema de certificados verdes como mecanismo incentivador de las energías renovables. Pese a que el plazo de validez de los certificados verdes ha sido ampliado, los ganaderos demandan un período de 20 años debido a los altos costes de inversión.

⁸Todos los importadores o productores de más de 100 GWh de electricidad están obligados a satisfacer la cuota nacional (DL 79/99)

- El sistema de incentivos mediante tarifa fija puede ser revisado cada 3 años y por tanto, variar.

Técnicas:

- Inexistencia de un procedimiento estandarizado para el diseño de sistemas y predicción de la cantidad de biogás producido. Dificultad para la evaluación del tamaño de la planta, componentes y tecnología que va a ser implementada.
- Dificultad para la recogida local de materias primas aprovechables para la producción de biogás. Concienciación escasa en el ámbito ganadero y agroalimentario.
- Inexistencia de una red de *district heating* para inyección del calor generado.
- Localización de las empresas de ingeniería y de consultoría en el norte de Italia, lo que dificulta la implantación de la tecnología en otras regiones italianas.
- Carencia de información en cuanto al posible aprovechamiento del digestato como fertilizante.

Legales:

- Procedimiento de autorización para la construcción de nuevas plantas complicado. Particularmente, la conexión a la red pública eléctrica y el aprovechamiento agrícola del digestato.
- Inexistencia de una política nacional clara en relación con el sistema de certificados verdes.

Sociales:

- Escepticismo frente a la tecnología debido a proyectos que no funcionaron (diseño y ejecución incorrecta) durante la década de los 90.
- Información escasa y con poca calidad, respecto a aspectos técnicos y económicos (costes de inversión, tiempo de retorno, etc.), por parte de los sectores implicados. Especialmente escasa difusión de la tecnología entre los ganaderos.
- Colaboración inexistente entre ganaderos, autoridades locales, industrias locales y población local.
- Escasa concienciación en los sectores agrícola y agroalimentario.

Normas sobre utilización agrícola del digestato

La principal normativa a tener en cuenta es la siguiente:

- *Decreto Legislativo n° 152, del 3 di Aprile del 2006, Norme in materia ambientale, Gazzetta Ufficiale n° 88 del; 14 di Aprile 2006, Supplemento Ordinario n° 96.*

- *DLgs n° 4, del 16/1/2008, correctivo 2° del DLgs. 152/06.*
- *Decreto 7 Aprile 2006 (Ministero delle Politiche Agricole e Forestali). Criteri e norme tecniche generali per la disciplina regionale dell'utilizzazione agronomica degli effluenti di allevamento, di cui all'articolo 38 del decreto legislativo 11 Maggio 1999, n° 152.*

Según la clasificación de la biomasa aprovechable como sustrato (deyección ganadera, residuo/subproducto), el digestato tiene una consideración diferente y su uso agrícola se ve afectado por distintas reglamentaciones. Además, la legislación relativa al uso agrícola del digestato es diferente en las distintas regiones de Italia (diciembre 2009).

En algunas regiones como Emilia-Romaña es posible asimilar el digestato a "deyección ganadera" si los sustratos utilizados para la digestión anaerobia no se clasifican como residuo. En particular, en dicha región, la normativa DGR N° 1255/08, establece que el digestato es un "fertilizante orgánico" si procede de la siguiente biomasa: efluentes zootécnicos (estiércol y purín, solos o mezclados con biomasa vegetal de origen agrícola), residuos de cultivos o residuos de las empresas agrícolas de transformación o valorización de productos vegetales y subproductos de origen animal (material clasificado como categoría 3). Para la aplicación de este "fertilizante orgánico", se debe respetar el DM 07.04.06 (artículo 10 para zonas no vulnerables y artículo 28 para zonas vulnerables).

Otra normativa de interés

Decreto sobre protección de las aguas contra la contaminación por nitratos de origen agrario
Decreto Legislativo n° 152, del 11 di Maggio del 1999, Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della Direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della Direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole, Gazzetta Ufficiale n° 124 del; 29 di Maggio del 1999, Supplemento Ordinario n° 101/L.

Transposición a la reglamentación italiana de la Directiva 91/676/CE, relativa a la protección de las aguas por contaminación de nitratos de origen agrario.

Desarrollo de I+D propia en el país

Entre los centros más activos que tienen líneas de investigación relacionadas con la producción de biogás agroindustrial se encuentran el *Research Centre of Animal Production – Environmental division (CRPA)*, *Università degli Studi di Milano Dipartimento VSA*, *Università degli Studi di Milano* o el *Istituto Agrario di San Michele all'Adige*. La investigación de estos institutos se centra fundamentalmente en investigación aplicada: evaluación de recursos, potencial de biogás, estudios de viabilidad técnico-económica, evaluación de la eficiencia de pre- y posttratamientos.

- Entre 1980 y 1985, el CRPA ha coordinado con la colaboración de ENEA, ENI y ENEL, un programa de monitorización del funcionamiento y de las prestaciones de 5 plantas de demostración de digestión anaeróbica a escala industrial (construidas con financiación pública). Entre los objetivos del programa se encontraban: verificación de la eficiencia del proceso de digestión anaerobia, estimación de la viabilidad técnico-económica de las instalaciones así como una evaluación de los requerimientos legales de este tipo de instalaciones.
- Desde 1990, el CRPA está llevando a cabo campañas de monitoreo en diversas instalaciones de biogás simplificadas (cobertura con materiales plásticos sobre las balsas de almacenamiento). Estas instalaciones de bajo coste se han difundido durante los últimos años en la llanura *Padana* (región geográfica del norte de Italia), y han servido tanto para la recuperación de energía como estabilización y control de olores de las deyecciones ganaderas.
- Entre 1993-1995 el CRPA ha desarrollado un proyecto de investigación aplicada denominado "*Studio-progetto sul risparmio energetico ed il risanamento ambientale connessi con l'impiego di digestori anaerobici negli allevamenti suinicoli dell'Emilia Romagna*", que estaba estructurado en dos fases. En la primera se han abordado los requerimientos legales y programas indirectos, campaña de medidas en los digestores anaerobios, investigación sobre las modalidades de aplicación agrícola de los purines; y en la segunda fase se han proporcionado criterios para los proyectos de plantas de biogás que permiten la optimización de la producción de biogás, la racionalización del consumo energético y la verificación de la viabilidad.
- Entre los proyectos de investigación desarrollados por el CRPA se encuentra el diseño de un

software que permite a los operadores agrícolas y agroindustriales analizar la viabilidad para la implantación de la tecnología del biogás. El modelo de cálculo supone un servicio de asistencia técnica que permite el dimensionamiento del digester, la elección del sistema de conversión energética así como un análisis económico de la inversión.

- También en la CRPA se han desarrollado estudios que analizan el potencial de biogás agroindustrial de la región Emilia-Romana. Para ello se han llevado a cabo ensayos de laboratorio y en reactores a escala semi-industrial.

8.1.4 EJEMPLOS DE PLANTAS

Fangel (Dinamarca)

La planta de Fangel fue construida en 1988/89 y se trata de una de las primeras plantas centralizadas de las que se pusieron en marcha en Dinamarca en la década de los 80. En 2001, la empresa BIGADAN, empresa danesa especializada en el diseño, montaje y operación de plantas de biogás centralizada, se hizo con el 100% de la propiedad, remodeló la mayor parte de la planta y la ha venido explotando desde entonces.

Figura 17. Fotografía aérea de la planta de biogás centralizada de Fangel (Odense-Dinamarca)



Materias primas

La planta de Fangel procesa 80.300 t/año (220 t/día) de distintos tipos de residuos agroindustriales. Se realizan unas 12-14 descargas diarias en la planta de lunes a viernes. Los fines de semana la planta se alimenta con las reservas del tanque de recepción. La planta dispone de un camión con el que

realiza la recogida de purín así como la distribución de digestato a tanques descentralizados donde se almacenan hasta su aplicación agrícola.

El 81,8 % de la mezcla alimentada procede de residuos ganaderos de 18-20 granjas cercanas (15 km), principalmente de porcino, y en menor medida de bovino y avícola.

La mezcla se completa con un 18,2% de residuos de las industrias alimentarias próximas a la instalación (50 km). En concreto, se tratan residuos de una industria de producción de rollitos de primavera, los subproductos de un matadero y fábrica de elaborados (residuos de salchichas, lodos de desengrase, lodos de flotación y aguas de limpieza de una industria de elaboración de queso rallado.

Cuando necesitan elevar la producción de biogás utilizan aceites de fritura, glicerina u otros sustratos parecidos de una planta de producción.

Tabla 35. Materias primas procesadas en la Planta de Biogás Centralizada de FANGEL Bioenergí (Odense-Dinamarca)

Materia prima	%	t/año
Purín porcino	65,5	52.560
Estiércol vacuno	8,2	6.570
Gallinaza	8,2	6.570
Subtotal residuos ganaderos	81,8	65.700
Residuos de industria vegetales congelados	2,6	2.081
Residuos de matadero	4,5	3.650
Aguas limpieza ind. elaboración queso	11,0	8.870
Aceites de fritura/glicerina	-	ocasionalmente
Subtotal residuos industriales	18,2	14.600
Total residuos	100	80.300

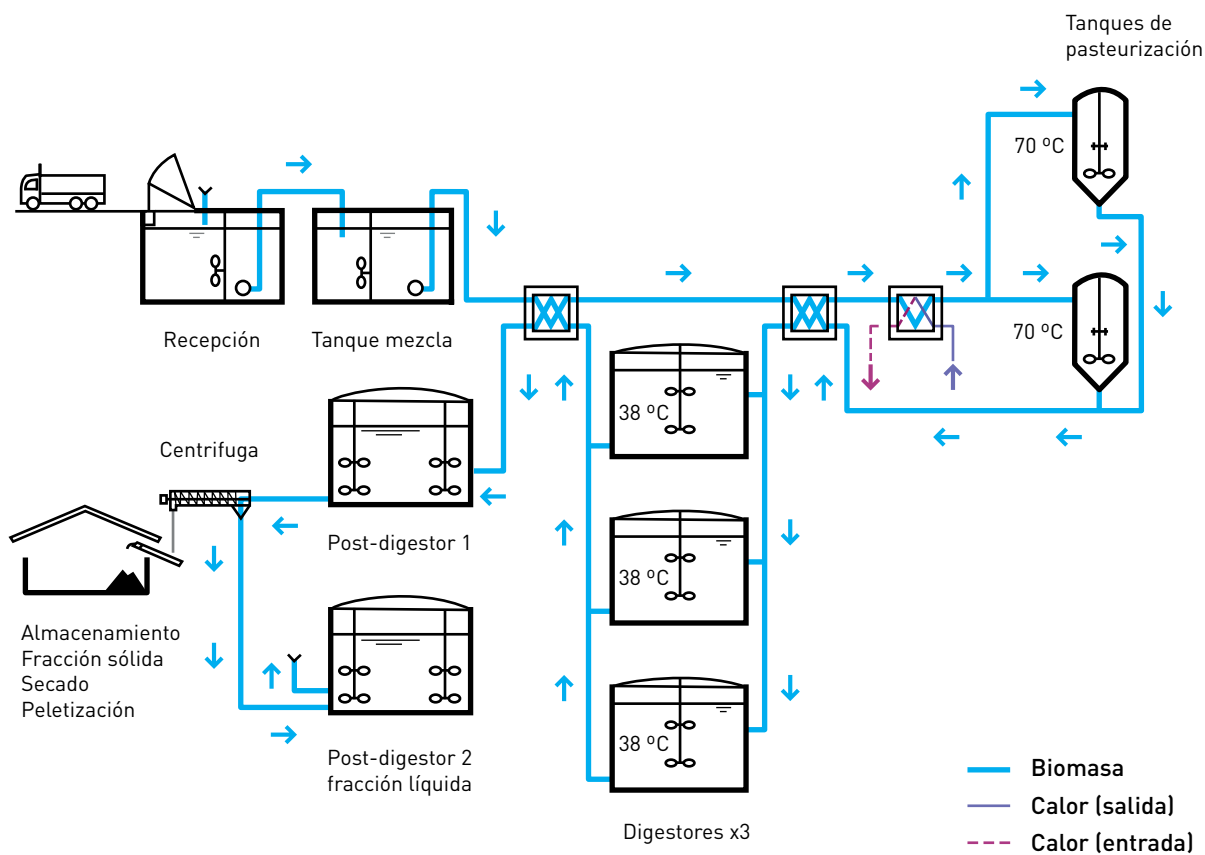
Las industrias alimentarias que generan residuos pagan un pequeño canon por el tratamiento de sus residuos. Este coste de tratamiento es inferior al que deberían pagar por su deposición en vertederos o incineradoras, o al de depuración. Por ello, están de acuerdo en firmar contratos con la planta de biogás de duración variable según el tipo de residuo. Los precios cobrados son más altos por residuos que producen poco biogás y más bajos por residuos de alta producción. Los precios cobrados por la planta oscilan entre 0 y 25€ aproximadamente. En general, los costes de transporte suelen ser soportados también por el industrial. Sólo en algunos casos la planta paga por emplear materias primas muy productivas como son los aceites vegetales usados o la glicerina. La planta se garantiza el aprovisionamiento de una parte mayoritaria de los residuos que procesa mientras que otra es variable en función de la oferta y la demanda de residuos.

Descripción de la planta

Los residuos llegan en vehículos a una zona de recepción donde se levanta la puerta del foso o tanque de recepción, donde se depositan. Aunque no se muestra en la figura, existe un biofiltro para la desodorización del aire procedente de la nave de recepción de sustratos con objeto de evitar malos olores en el vecindario.

Toda la biomasa circula por una trituradora de cuchillos (10 mm) antes de pasar al tanque de homogeneización. Posteriormente se precalienta escalonadamente en tres intercambiadores de calor, y se pasteuriza a 70 °C durante 1 hora en dos tanques de pasterización disponibles de 600 y 800 m³ de capacidad. La biomasa pasterizada pasa a continuación a tres digestores en paralelo, con un tiempo de retención de 20 días y cuyo rango de trabajo es mesofílico (38 °C). La capacidad total de digestión de la planta es de 4.500 m³.

Figura 18. Esquema de la planta de biogás centralizada de Fangel (Bigadan)



Fuente: Bigadan®

Figura 19. Pasteurizadores (izq.) y digestores (dcha.)



Uso del biogás

La productividad obtenida de la mezcla alimentada en la planta es de 50 m³ biogás/t. El biogás producido (12.000 m³ biogás/día) pasa de los digestores a una torre externa de desulfurización biológica para reducir la cantidad de ácido sulfhídrico (H₂S) de 2.000 a 100 ppm. Luego el biogás se conduce hasta un motor de cogeneración de 1,4 MWe de potencia instalada donde se aprovecha como combustible. Además, se dispone de un segundo motor de 0,8 MW que actúa como reserva. A modo de depósito pulmón se dispone de un gasómetro externo de 1.500 m³ de capacidad suficiente para almacenar el equivalente a 3 horas de producción de biogás. También existe una válvula de emergencia que conduce el biogás a una antorcha para ser quemado en caso de excesos.

Figura 20. Gasómetro externo 1.500 m³ (arriba) y motor de cogeneración 1,4 MWe (abajo)



El motor de 1,4 MWe produce 10-12 GWhe/año que se venden a la red eléctrica. La energía térmica generada es de 45.000 GJ/año. La planta proporciona agua caliente a una población cercana mediante un sistema de *district heating*. No todo el 100% se exporta. Los usos internos del calor son de un 10% que se utiliza para el calentamiento de los digestores y la pasteurización, y un 15-20% adicional que se utiliza en el secado-peletización del digestato.

Aprovechamiento del digestato

El digestato se almacena en un post-digestor hasta su separación sólido-líquido en una centrífuga.

El líquido se entrega a los granjeros para su aplicación agrícola directa o su almacenamiento en depósitos de almacenamiento (12 meses) que poseen próximos a los campos. Existe un sistema de control de los sólidos totales y el nitrógeno que entrega cada granja a la planta. Deben retirar un volumen de digestato que contenga una cantidad equivalente de nitrógeno aportado con los purines. De este modo se garantiza la distribución equitativa de los digestatos. El digestato líquido equivalente al nitrógeno aportado por los co-sustratos industriales es aprovechado en una parcela de 200 ha próxima a la planta de biogás.

Desde 2008/2009, la fracción sólida se almacena para su posterior transformación en pellets. Esta es una de las principales innovaciones de la planta de *Fangel*. Antes de la pelletización, la fracción sólida que sale de la centrífuga con una humedad del 65-70% pasa por una planta de secado que, aprovechando el calor del motor de co-generación, reduce la humedad hasta un 10% aproximadamente. Una de las principales claves de la viabilidad del proceso es la optimización de la eficiencia energética de la planta de secado. La planta produce 2.000 t de pellets anualmente que vende a los agricultores. Se estudia su uso como combustible sólido.

Figura 21. Planta de secado (izq.), peletizador (centro) y producto final (dcha.)



Aspectos económicos

El coste de inversión en 1989 fue de 25,3 millones de coronas danesas (de las que 10,0 millones fueron subvención). No se dispone de los costes de re-inversión realizados en 2001. El coste aproximado de la planta de secado instalado en 2008 es de 1,0 millones de €. La tarifa actual en

Dinamarca es de 10 c€/kWh por lo que los ingresos ascienden a unos 1,0-1,2 mill€/año por la venta de la electricidad. No se disponen de precios convenidos con el municipio por el suministro del calor. La gestión del digestato no supone un coste adicional para la planta aunque tampoco está suponiendo ingresos.

Figura 22. Vista posterior de la planta de biogás de Fangel



Söderåsens Bioenergi AB (Suecia)

La planta de biogás *Söderåsens Bioenergi AB* (Suecia) lleva en funcionamiento desde 2006. Los propietarios son la compañía E.ON Gas AB, Wrms

Gunnarstorp y Bigadan A/S. La planta procesa fundamentalmente residuos de industrias alimentarias y cuenta con un sistema de depuración e inyección del biogás a la red de gas natural.

Figura 23. Fotografía aérea de la planta de biogás Söderasens Bioenergi AB



Materias primas

La planta procesa un total de 39.500 m³/año (108 t/día) de residuos agroindustriales. En concreto, 7,6% purín de cerdo, 75,9% residuos de una industria de vegetales congelados y 16,5% residuos de otras industrias alimentarias. Todas estas materias proceden de actividades desarrolladas en un radio de 10 km. La alimentación de la planta es semi-continua (5 veces al día) y la planta cobra un canon por la gestión de residuos de 8 €/t.

Tabla 36. Materias primas procesadas en la planta de biogás Wrams Gunnarstorp (Bjuv in Skane, Suecia)

Materia prima	%	t/año
Purín porcino	7,6	3.000
Subtotal residuos ganaderos	7,6	3.000
Residuos industria FINDUS	75,9	30.000
Residuos de otras industrias alimentarias	16,5	6.500
Subtotal residuos industriales	92,4	36.500
Total residuos	100	39.500

Descripción de la planta

La recepción de los residuos se realiza en un tanque previo de almacenamiento donde son mezclados, y permanecen, al menos una hora, antes de ser triturados hasta un tamaño de partícula de 10 mm. Posteriormente, la mezcla se bombea al tanque de homogeneización, desde el cual se dosifica a la unidad de pasteurización (70 °C, 1h).

Una vez pasteurizado, el material pasa al digester anaerobio que trabaja en rango mesofílico a 38 °C (volumen: 4.200 m³; presión: 4,2 mbar; tiempo hidráulico de retención: 21 días; contenido en sólidos totales: 10-12%) donde se produce la mayor parte del biogás y después al post-digestor (Volumen: 1.500 m³; presión: 1 mbar) de donde se recoge el gas residual durante 6-7 días.

Figura 24. Fotografía de la planta de biogás Söderasens Bioenergi AB



Tras este último paso, el digestato se almacena en unos tanques (5 x 5.000 m³) antes de su aplicación al terreno. Para regular la cantidad de sólidos totales que entran con el alimento, la planta dispone de una unidad de separación sólido/líquido para el fango de la depuradora de la industria de vegetales congelados, que llega directamente de la fábrica por bombeo. Si los sólidos totales de la mezcla en el tanque preliminar son demasiado elevados, no se realiza separación sólido/líquido. Si por el contrario, los sólidos totales son bajos, se realiza separación y el agua se recircula a la industria.

Además, la planta dispone de un biofiltro para la desodorización del aire procedente de la nave de recepción de sustratos.

Uso del biogás

Se generan en torno a 4 millones de m³ de biogás al año, con un 65-70% de metano. En total, la planta produce entre 21 y 24 GWh de biogás depurado por año, el cual es equivalente a cerca de 2,5 millones de litros de gasolina.

El 90% del biogás producido se depura (eliminación de H₂S) mediante una columna de carbón activo y eliminación de dióxido de carbono con un sistema PSA a una presión de 5 bar, se aumenta su poder calorífico (PCI) hasta la calidad de red mediante la adición de propano y posteriormente, se inyecta a 5 bar en la red de gas natural. La eliminación de H₂S también tiene lugar parcialmente en el digestor, ya que parte de la alimentación son lodos de depuradora que llevan cloruro férrico, el cual produce la precipitación del azufre.

Figura 25. Fotografía del sistema de depuración de la planta de biogás Söderasens Bioenergi AB



La compañía E.ON se hace cargo del biogás, lo purifica y lo distribuye en la red de gas natural. El biogás depurado es transportado a la red de gas, a una distancia alrededor de 3,5 km, a través de la cual es distribuida a los consumidores, incluyendo gasolineras. La producción anual de biogás es suficiente para cubrir el consumo de 1.200-1.500 vehículos que usan biometano.

El 10% restante del biogás producido se utiliza para el calentamiento de los digestores (calefacción externa) y para la pasteurización.

Digestato

Aproximadamente, se producen 45.000 t de digestato anualmente, el cual se aplica en 780 ha de tierras de cultivo propiedad de la planta y de otras explotaciones agrícolas cercanas. El digestato producido tiene un relativamente bajo contenido en fósforo (alrededor de 0,5 kg/m³) y un contenido en nitrógeno de 4,5 kg/m³.

El digestato no se almacena en su totalidad en la planta de biogás, sino que una parte se transfiere a tanques de almacenamiento descentralizados, junto a los terrenos donde posteriormente se aplica, que distan unos 5-6 km de la planta. Estos tanques descentralizados son propiedad de los agricultores.

Aspectos económicos

El coste de inversión en 2006 fue de 40 millones de SEK para la planta de biogás, mientras que la inversión de las instalaciones de depuración del biogás fue de 15 millones de SEK. El proyecto fue financiado por los tres propietarios de Söderasens Bioenergi AB y un socio externo. El proyecto destaca por ser viable económicamente sin la necesidad de subvenciones adicionales.

8.2 REFERENCIAS

8.2.1 Referencias marco jurídico

- Agencia Europea del Medio Ambiente (European Environment Agency). *EEA Report N° 6/2008* [en línea]. <http://www.eea.europa.eu/publications/eea_report_2008_6> [Consulta: abril 2009].
- *Biogas Regions. Promotion of biogas and its market development through local and regional partnerships* [en línea]. *Intelligent Energy Europe (IEE), 2008*. <<http://www.biogasregions.org/doc/strategies/introduction.pdf>> [Consulta: abril 2009].
- *Buscador de legislación de la Unión Europea EUR-lex* [en línea]. <http://eur-lex.europa.eu/RECH_menu.do?ihmlang=es> [Consulta: febrero 2009].
- *Buscador de legislación Española Iberlex* [en línea]. <http://www.boe.es/aeboe/consultas/bases_datos/iberlex.php> [Consulta: febrero 2009].
- *Buscador de legislación y sistemas de incentivos en Energías Renovables de los países de la Unión Europea del Ministerio Federal de Medio Ambiente alemán (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Rechtsquellen Erneuerbare Energien). Legal sources on renewable energy* [en línea]. <<http://res-legal.eu/en.html>> [Consulta: marzo 2009].
- *Comisión Nacional de Energía. Legislación del sector eléctrico* [en línea]. <http://www.cne.es/cne/Legislacion?id_nodo=34&accion=0&id_materia=5&keyword=&auditoria=F#a5> [Consulta: marzo 2009].
- *Deublein & Steinhäuser, 2008. Biogas from Waste and Renewable Resources*. WILEY-VCH Verlag GMBH & Co. KGaA, Weinheim. 2008
- *Federación Europea de las Actividades de Manejo de Residuos y Medio Ambiente (European Federation of Waste Management and Environmental Services). Fead position on the Comisión Green Paper on the management of bio-waste in the European Union* [en línea]. <<http://www.fead.be/index.php?page=position-papers>> [Consulta: marzo 2009].
- *Holm-Nielsen, J.B., Al Seadi, T., Oleskowicz-Popiel, P., 2009. The future of anaerobic digestion and biogas utilization. Bioresource Technology, doi: 10.1016/j.biortech.2008.12.046k*.
- *Libro Verde sobre la gestión de los biorresiduos en la UE. Comisión de las Comunidades Europeas. COM (2008) 811 final. 3-12-08*. [en línea]. <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2008:0811:FIN:ES:PDF>> [Consulta: marzo 2009].
- *Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, Gobierno de España. Energía eléctrica: Tarifas y primas de instalaciones en régimen especial* [en línea]. <<http://www.mityc.es/energia/electricidad/Tarifas/Instalaciones/Documents/InstalacionesCategoríaB.pdf>> [Consulta: marzo 2009].
- *Ministerio de Justicia Alemán (Bundesministerium der Justiz). Ley sobre inyección en red de gas (Verordnung über den Zugang zu Gasversorgungsnetzen; Gasnetzzugangsverordnung - GasNZV)* [en línea]. <<http://www.gesetze-im-internet.de/gasnzv/BJNR221000005.html#BJNR221000005BJNG000100000>> [Consulta: marzo 2009].
- *Persson, M.; Jönsson, O.; Wellinger, A., 2006. Biogas upgrading to vehicle fuel standards and grid injection. IEA Bioenergy. Task 37-Energy from biogas and landfill gas* [en línea]. <http://www.biogasmax.eu/media/1_biogas_upgrading_075624200_1207_19042007.pdf> [Consulta: marzo 2009].
- *Portal sobre Bioenergía de la Universidad Sur de Dinamarca (University Southern Denmark). Weiland P., 2008. Impact of competition claims for food and energy on German biogas production. IEA Bioenergy Seminar, Ludlow* [en línea]. <<http://web.sdu.dk/bio/breakingnews/IEA%20Seminar%20Ludlow%2017%2004%2008.pps>> [Consulta: marzo 2009].
- *Portal de la Comisión Europea. Sección Agricultura y Desarrollo Rural, Bioenergía* [en línea]. <http://ec.europa.eu/agriculture/bioenergy/index_en.htm> [Consulta: marzo 2009].
- *Portal de derecho ambiental Ecolex* [en línea]. <www.ecolex.org> [Consulta: marzo 2009].
- *Portal de la Unión Europea, resúmenes legislación de la Unión Europea. Resúmenes de legislación referida a las Energías Renovables (Renewable Energy)* [en línea]. <http://europa.eu/legislation_summaries/energy/renewable_energy/index_en.htm> [Consulta: marzo 2009].
- *Programa europeo de promoción del biogás agrícola como fuente de energía descentralizada en Europa (BioProFarm)* [en línea]. <http://www.bioprofarm.eu/?page_id=17> [Consulta: marzo 2009].
- *Portal de información de motores de cogeneración (BHKW-Infozentrum). Reglamentación sobre biomasa (Biomasseverordnung)* [en línea]. <<http://www.bhkw-infozentrum.de/statement/biomassevo.html>> [Consulta: abril 2009].
- *Portal de la Asociación Alemana del Biogás (Fachverband Biogas e.V.)* [en línea]. <<http://www.biogas.org/>> [Consulta: abril 2009].

- *Portal sobre bioenergía de la Universidad Sur de Dinamarca (University Southern Denmark)* [en línea]. <<http://web.sdu.dk/bio/>> [Consulta: marzo 2009].
- *Portal de la Agencia Danesa de la energía (Energi Styrelsen)* [en línea]. <<http://www.ens.dk/sw28015.asp>> [Consulta: abril 2009].
- *Portal de Series de Guías Legales Comparativas Internacionales (International Comparative Legal Guide Series). Comparativa sobre las Regulaciones Gas Natural (The International Comparative Legal Guide to: Gas Regulation 2009, Global Legal Group)* [en línea]. <http://www.iclg.co.uk/index.php?area=4&kh_publications_id=90> [Consulta: julio 2009].
- *Portal de información legal del Ministerio alemán de Medio Ambiente* [en línea]. <www.res-legal.eu>. [Consulta: marzo 2009].
- *Portal de legislación italiana (Gazzetta Ufficiale Della Repubblica Italiana)* [en línea]. <<http://www.gazzettaufficiale.it/>> [Consulta: marzo 2009].
- *Portal de la región italiana Regione Abruzzo* [en línea]. <<http://www.regione.abruzzo.it>> [Consulta: marzo 2009].
- *Portal de legislación italiana. Decreto 14 marzo 2003* [en línea]. <<http://www.ambientediritto.it/Legislazione/Energia/2003/dm%2014%20mar%202003.htm>> [Consulta: marzo 2009].
- *Portal de la Autoridad de la Energía Eléctrica y el gas* [en línea]. <http://www.autorita.energia.it/che_cosa/presentazione.htm> [Consulta: marzo 2009].
- *Portal del Gestor del Servicio Eléctrico Italiano. Cuadro Normativo* [en línea]. <<http://www.gse.it/attivita/Incentivazioni%20Fonti%20Rinnovabili/Pagine/QuadroNormativo.aspx>> [Consulta: marzo 2009].
- *Portal del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Plan de Energías Renovables en España (2005-2010)* [en línea]. <<http://www.mityc.es/es-ES/Documentacion/DocumInteres/PLAN%20ENERGIAS%20RENOVABLES.pdf>> [Consulta: marzo 2009].
- *Portal del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Gobierno de España. Observatorio de legislación: Base de Datos con la normativa comunitaria, estatal y autonómica en materia agroalimentaria y pesquera* [en línea]. <http://www.mapa.es/app/Normativa_web/Norma/BusquedaN.aspx?id=es&Err=1> [Consulta: marzo 2009].
- *Portal del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Gobierno de España. Área de medio ambiente, Normativa relacionada con Cambio Climático* [en línea]. <<http://www.mma.es/portal/>

secciones/cambio_climatico/documentacion_cc/normativa_cc/index.htm#2> [Consulta: julio 2009].

- *Portal de información sobre subproductos animales no destinados a consumo humano* [en línea]. <<http://www.sandach.com.es/Publico/Legislacion.aspx>> [Consulta: marzo 2009].
- *Red europea de bioenergía EUBIONET II* [en línea]. <<http://eubionet2.ohoi.net/>> [Consulta: marzo 2009].
- Tricase, C.; Lombardi, M., 2009. *State of the art and prospects of Italian biogas production from animal sewage: Technical-economic considerations (Review)*, Renewable Energy 34 (2009) 477-485.

8.2.2 Referencias tecnologías y Anexo 8.1 Tecnologías de pretratamientos

Manuales y webs

- *Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL). Biogas-Pilotanlagen auf landwirtschaftlichen Betrieben in Bayern. LfL-Information* [en línea]. Freising (Alemania): Institut für Landtechnik und Tierhaltung, 2007. <http://www.lfl.bayern.de/publikationen/daten/informationen/p_27457.pdf> [Consulta: abril 2009].
- *Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL). Sicherung der Prozessstabilität in landwirtschaftlichen Biogasanlagen. LfL-Information* [en línea]. Freising (Alemania): Institut für Landtechnik und Tierhaltung, 2007. <http://www.lfl.bayern.de/publikationen/daten/informationen/p_27459.pdf> [Consulta: abril 2009].
- *BIOEXELL – Training manual on anaerobic digestion* [en línea]. Esbjerg (Dinamarca): Teodorita Al Seadi, University of Southern Denmark, 2001. “Project deliverable of BIOEXELL – European Biogas Centre of Excellence” <http://web.sdu.dk/bio/Bioexcell/Down/Bioexcell_manual.pdf> [Consulta: mayo 2009].
- Campos, E., Illa, J., Magrí, A., Palatsi, J., Sole-Mauri, F., Flotats, X. (coordinador). *Guía dels tractaments de les dejeccions ramaderes* [en línea]. Lleida (España): Agència de Residus de Catalunya i Departament d’Agricultura, Ramaderia i Pesca (Generalitat de Catalunya), 2004. <http://www.arc-cat.net/ca/altres/purins/guia/pdf/guia/pdf/guia_dejeccions.pdf> [Consulta: abril 2009].
- *Calculadora de rentabilidad de plantas de biogás desarrollada por Kuratorium für Technik und*

Bauwesen in der Landwirtschaft (Wirtschaftlichkeitsrechner Biogas) [en línea]. <<http://daten.ktbl.de/biogas/startseite.do;jsessionid=8B8B67EFE6D85F2C27593A1AB2783773#start>> [Consulta: abril 2009].

- *Compañía Organic Waste Systems (OWS). Proceso patentado Dranco Technology* [en línea]. <http://www.ows.be/pages/index.php?menu=85&choose_lang=EN> [Consulta: abril 2009].
- *Compañía Zorg proveedor de plantas de biogás* [en línea]. <http://zorg-biogas.com/files/broshury/ZORG_biogas_plants_-_universal.pdf> [Consulta: mayo 2009].
- Deublein, D., Steinhäuser, A., 2008. *Biogas from waste and renewable resources - An introduction*. Wiley-VCH. Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
- Elias, X., 2005 *Tratamientos y valorización energética de residuos*. Díaz de Santos Editorial.
- *Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR). Biogasanlagen in der Landwirtschaft* [en línea]. Bonn (Alemania): Infodienst, 2004. <<http://www.oekolandbau.nrw.de/pdf/energie/biogasanlage.pdf>> [Consulta: abril 2009]
- Flotats, X. *Producció de biogàs per codigestió anaeròbia*. [en línea]. Barcelona (España): Institut Català d'Energia (Generalitat de Catalunya), 2008. Col·lecció Quadern Pràctic Número 1. <http://www.icaen.net/uploads/continguts/publicacions/quadernspractics/2008_biogas.pdf> [Consulta: marzo 2009].
- *Handreichung. Biogasgewinnung und -nutzung. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR)*. Gülzow (Alemania), 2006.
- Köttner, M., 2008. *Fertilizer management of the digestate. International Biogas Training Course 2008*. Internationales Biogas und Bioenergie Kompetenzzentrum (IBBK), Stuttgart (Alemania).
- *residues*. J. Biotechnol. (2009), doi: 10.1016/j.jbiotec.2009.01.016
- Bonmatí, A., Flotats, X. *Air stripping of ammonia from pig slurry: characterisation and feasibility as a pre- or post-treatment to mesophilic anaerobic digestion*. Water Management, 23 (2003) 261-272.
- Bonmatí, A., Magrí, A. *Tecnologías aplicables en el tratamiento de las deyecciones ganaderas: un elemento clave para mejorar su gestión*. Revista RESIDUOS nº 97, mayo-junio 2007, pp. 46-69.
- Bonmatí i Blasi, A., 2001. *Usos de l'energia tèrmica per a la millora del procés de digestió anaeròbia de purins de porc i per a la recuperació de productes d'interès*. Tesis doctoral, Universitat de Lleida.
- Fernandes, T.V., Klaasse Bos, G.J., Zeeman, G., Sanders, J.P.M., Van Lier, J.B., 2009. *Effect of thermo-chemical pre-treatment on anaerobic biodegradability and hydrolysis of lignocellulosic biomass*. Bioresource Technology, 100 (2009) 2575-2579.
- Hartmann, H., Angelidaki, I., Ahring, B.K., 2000. *Increase of anaerobic degradation of particulate organic matter in full-scale biogas plants by mechanical maceration*. Water Science and Technology, 41 (3) 145-153.
- Heiermann M., Plöchl M., Linke B., Schelle H. (2002). *Preliminary evaluation of some cereals as energy crops for biogas production*. World Renewable Energy Congress VII.
- Lin, J.G., Chang, Ch.N., Chang, S.Ch., 1997. *Enhancement of anaerobic digestion of waste activated sludge by alkaline solubilization*. Bioresource Technology, 62 (3) 85-90.
- Luste, S., Luostarinen, S., Sillanpää, M., 2009. *Effect of pre-treatments on hydrolysis and methane production potentials of by-products from meat-processing industry*. Journal of Hazardous Materials, 164 (2009) 247-255.
- New York State Energy Research and Development Authority, NYSERDA (1989). *Methane from partially digested sewage sludge using a stream injection rapid thermal reactor*. NYSERDA Technical Report N° 89-1 (ref. PB91-121-483).
- Sharma S.K., Mishra I.M., Sharma M.P., Saini J.S. (1988). *Effect of particle size on biogas generation from biomass residues*. Biomass 17(4) 251-263.
- Srilatha, H.R., Nand, K., Babu, S., Madhukukara, K., 1995. *Fungal pretreatment of orange processing waste by solid-state fermentation for improved production on methane*. Process Biochemistry, 30 (49) 327-331.
- Sonakya, V., Raizada, N., Kalia, V.C., 2001. *Microbial and enzymatic improvement of anaerobic*

Artículos

- Amon, B., Kryvoruchko, V., Amon, T., Zechmeister-Boltenstern, S., 2006. *Methane, nitrous oxide and ammonia emissions during storage and after application of dairy cattle slurry and influence of slurry treatment*. Agric. Ecosyst. Environ. 112, 153-162.
- Angelidaki, I., Ahring, B.K., 2000. *Methods for increasing the biogas potential from the recalcitrant organic matter contained in manure*. Water Science and Technology, 41 (3) 189-194.
- Bauer, A., Mayr, H., Hopfner-Sixt, K., Amon, T., 2009. *Detailed monitoring of two biogas plants and mechanical solid-liquid separation of fermentation*

digestion of waste biomass. *Biotechnology Letters*, 23 (18) 1463-1466.

- Tiehm, A., 1997. *The use of ultrasound to accelerate the anaerobic digestion of sewage sludge*. *Water Science and Technology*, 36 (11) 121-128.
- Tiehm, A., Nickel, K., Zellhorn, M., Neis, U., 2001. *Ultrasonic waste activated sludge disintegration for improving anaerobic stabilization*. *Water Research*, 35 (8) 2003-2009.
- Ward, A.J., Hobbs, Ph.J., Holliman, P.J., Jones, D.L., 2008. *Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources*. *Bioresource Technology* 99 (2008) 7928 – 7940.
- Yadvika, Santosh, Sreekrishnan, T.R., Kohli S., Rana, V., 2004. *Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques – a review*. *Bioresource Technology*, 95 (2004) 1-10.
- Zheng, J., Graff, R.A., Fillos, J., Rinard, I., 1998. *Incorporation of rapid thermal conditioning into a wastewater treatment plant*. *Fuel Processing Technology* 56 (1998) 183-200.

8.2.3 Referencias situación actual en la Unión Europea y en España

- Barometer on the estate of renewable energies in Europe, 2009. [en línea]. <www.biogasmax.eu/490-barometer-on-the-state-of-renewable-energies-in-europe.html> [Consulta: octubre 2010].
- Portal de EurObserv'ER. Biogas Barometer. [en línea]. <www.eurobserv-er.org> [Consulta: octubre 2010].
- Portal de la Agencia Alemana de Materias Primas, Ministerio alemán de Agricultura. FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE e.V. (FNR, 2010), Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz [en línea]. <www.bio-energie.de/fileadmin/fnr/images/daten-und-fakten/2010/Abb27_2010_300dpi.jpg> [Consulta: octubre 2010].
- Portal de la European Biomass Association (AEBIOM) [en línea]. <www.aebiom.org/?p=231#more-231> [Consulta: octubre 2010].
- Eurostat. Population and social conditions. Data in focus (31/2009) [en línea]. <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-QA-09-031/EN/KS-QA-09-031-EN.PDF> [Consulta: octubre 2010].
- Comisión Nacional de la Energía (CNE). Información básica de los sectores de la Energía, 2009. [en línea]. <http://www.cne.es/cne/doc/publicaciones/PA002_09.pdf> [Consulta: octubre 2010].
- Portal de la Agencia Alemana de Materias Primas, Ministerio alemán de Agricultura. FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE e.V. (FNR), Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. [en línea]. <www.bio-energie.de/biogas/biogasanlagen-in-deutschland/biomethananlagen/> [Consulta: octubre 2010].
- Información estadística sobre las ventas de Energía del Régimen Especial. Comisión Nacional de Energía (CNE), 2010. [en línea]. <www.cne.es/cne/Publicaciones?id_nodo=143&accion=1&sol_oUltimo=si&sldCat=10&keyword=&auditoria=F> [Consulta: octubre 2010].

8.2.4 Referencias potencial

- Portal del Proyecto Singular y Estratégico PRO-BIOGAS. [en línea]. <<http://www.probiogas.es>> [Consulta: septiembre 2010].
- Buzby, J.C., Wells, H.F., Axtman, B., Mickey, J.. *Supermarket Loss Estimates for Fresh Fruit, Vegetables, Meat, Poultry, and Seafood and their use in the ERS Loss-Adjusted Food Availability Data* [en línea]. Economic Research Service – United States Department of Agriculture (ERC-USDA), Economic Information Bulletin Number 44, 2009. <<http://www.ers.usda.gov/Publications/EIB44/EIB44fm.pdf>> [Consulta: abril 2009].
- Engström, R., Carlsson-Kanyama, A., 2004. *Food losses in food service institutions – Examples from Sweden*. *Food Policy* 29 (2004): 203-213.
- *Food Retail in Spain. Industry Profile* [en línea]. Datamonitor, julio 2008 <<http://www.estudio-mercado.es/estudios/food-retail-spain-p-43823.html>>. [Consulta: abril 2009].
- Fehr, M., Calçado, M.D.R., Romão, D.C., 2002. *The basis of a policy for minimizing and recycling food waste*. *Environmental Science & Policy* 5 (2002) 247-253.
- Jones, T.W. *Using Contemporary Archaeology and Applied Anthropology to Understand Food Loss in the American Food System* [en línea]. Tucson (Arizona, USA): University of Arizona, 2004. <<http://www.communitycompost.org/info/usafood.pdf>> [Consulta: abril 2009].
- Kantor, L. S., Lipton, K., Manchester, A., Oliveira, V.. *Estimating and Addressing America's Food Losses* [en línea]. Economic Research Service, U.S. Department of Agriculture, 1997. <<http://www.ers.usda.gov/Publications/FoodReview/Jan1997/Jan97a.pdf>> [Consulta: abril 2009]

- *Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (MARM). La alimentación en España, 2006* [en línea]. <<http://aplicaciones.mapa.es/es/alimentacion/pags/consumo/libro/2006/libro.htm>> [Consulta: abril 2009].
- *Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (MARM). Consumo y gasto total de productos en Hostelería-Restauración (año 2006)* [en línea]. <<http://www.mapa.es/en/alimentacion/pags/consumo/hosteleria/consulta.htm>> [Consulta: abril 2009].
- *Schneider, F. Food Waste from Commerce. Potentials for Waste Prevention, targets & indicators. Bruselas, ACR+Biowaste Cluster, 2008* [en línea]. <<http://www.acrplus.org/upload/documents/document424.pdf>> [Consulta: abril 2008].
- *Schneider, F. Wasting Food – An Insistent Behaviour. Shaw Conference Centre Edmonton, Alberta (Canada), 2008* [en línea]. <<http://www.ifr.ac.uk/waste/Reports/Wasting%20Food%20-%20An%20Insistent.pdf>> [Consulta: abril 2009].
- *Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz). Líneas prioritarias de los proyectos de Investigación en Alemania* [en línea]. <http://www.nachwachsenderohstoffe.de/fileadmin/fnr/pdf/Brosch_Foerderprogramm7_BMELV.pdf> [Consulta: abril 2009].
- *FiB Bioenergy Research* [en línea]. <<http://www.biopress.dk/FiB-UK.htm>>. [Consulta: abril 2009].
- *IEA Bioenergy Task 37. Case Studies provided by operators* [en línea]. <<http://www.iea-biogas.net/casestudiesoperators.htm>> [Consulta: abril 2009].
- *Moller. Manure and energy crops for biogas production. Status and barriers* [en línea]. TemaNord 2008:544. Copenhagen, Nordic Council of Ministers, 11-06-08. <http://www.norden.org/en/publications/publications/2008-44/at_download/publicationfile> [Consulta: diciembre 2009].
- *Navarotto, P.L. Il biogas: aspetti tecnico – impiantistici, gestionali e normativi* [en línea]. Università degli Studi di Milano Dipartimento VSA. Diciembre 2008. <http://www.crpa.it/media/documents/crpa_www/Progetti/Seq-Cure/Convegno_Tadini_9_12_08/Navarotto_Tadini_9_12_08.pdf> [Consulta: julio 2009].
- *Piccinini, S. State of the art of biogas in Italy* [en línea]. Workshop: Biogas – a promising renewable energy source for Europe. December 11, 2008. European Parliament. Bruselas (Bélgica). <http://www.aebiom.org/IMG/pdf/Piccinini_text.pdf> [Consulta: abril 2009].
- *Piccinini, S., Sartori, C., Bagnoli, M. Resumen del Workshop AgriForEnergy WP5 D41 AIEL EN Workshop BIOGAS, Gonzaga 19, enero, 2007* [en línea]. <http://www.agriforenergy.com/Downloads/D41_Workshops_AIEL_1_EN.pdf> [Consulta: abril 2009].
- *Piccinini, S. Comune di Gattatico. Energie rinnovabili in campo agricolo. Impianti biogas da effluenti zootecnici: esperienze realizzate in Italia* [en línea]. <http://www.crpa.it/media/documents/crpa_www/Progetti/Seq-Cure/Piccinini-16-2-09.pdf> [Consulta: mayo 2009].
- *Portal de programas de investigación daneses (Energiforskning)* [en línea]. <<http://www.energiforskning.dk>> [Consulta: abril 2009].
- *Portal de la compañía propietaria de toda la infraestructura del sistema de la electricidad y el gas danés (Energinet.dk´s)* [en línea]. <<http://www.energinet.dk/en/menu/Frontpage.htm>> [Consulta: abril 2009].
- *Portal buscador de proyectos europeos de I+D (EU, R&D framework programmes)* [en

8.2.5 Referencias situación en otros países de la Unión Europea

Portales web

- *Agencia Danesa de la Energía (Energi styrelsen)* [en línea]. <<http://www.ens.dk/>> [Consulta: abril 2009].
- *Base de datos de proyectos de I+D daneses (Danish Energy R&D projects - DENP)*. [en línea]. <http://iis-03.risoe.dk/net/html/risoe/ENS/efp_uk.htm> [Consulta: abril 2009].
- *Agencia Danesa de la Energía (Danish Energy Agency). Objetivos generales y condiciones para la I+D en el ámbito de la energía (Overall goals and framework conditions for RDD in the field of energy)* [en línea]: <http://www.ens.dk/graphics/Publikationer/Energiforskning_UK/Strategy_for_energy_research_okt06/html/chapter04.htm> [Consulta: abril 2009].
- *Biogaspartner – a joint initiative. Biogas Grid Injection in Germany and Europe – Market, Technology and Players* [en línea] Projekt “Biogaspartnerschaft”, 2009. <<http://www.biogaspartner.de/index.php?id=10105>> [Consulta: noviembre 2009].
- *Buscador de proyectos de investigación en Alemania del Gobierno Federal (Förder Katalog. Die Bundesregierung)* [en línea]. <<http://foerderportal.bund.de/foekat/jsp/SucheAction.do?actionMode=searchmask>> [Consulta: abril 2009].

línea]. <<http://cordis.europa.eu/search/index.cfm?fuseaction=proj.resultList&page=1&perPage=10&q=2D83C8C027FDC6A4471FA8EEDCDE5299&type=adv>> [Consulta: abril 2009].

- *Portal de la Comisión Europea, Directorio General de Energía y Transporte (Directorate-General for Energy and Transport). Ejemplos de plantas de biogás (Case Studies)* [en línea]. <<http://www.managenergy.net/indexes/159.htm>> [Consulta: mayo 2009].
- *Portal de la Asociación Danesa del Biogás (Brancheforeningen for Biogas)* [en línea]. <<http://www.adnett.org/http://www.biogasbranchen.dk/>> [Consulta: abril 2009].
- *Fachagentur Wachsende Rohstoffe e.V. (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz). Projekte & Förderung* [en línea]. <<http://www.nachwachsenderohstoffe.de/index.php>> [Consulta: abril 2009].
- *Portal de la Comisión Europea* [en línea]. Directorio de Energía y Transporte (Directorate-General for Energy & Transport, Intelligent Energy Projects) <http://ieea.erba.hu/ieea/page/Page.jsp?op=project_list&searchtype=3> [Consulta: abril 2009].
- Ramesohl, S. *Analyse und Bewertung der Nutzungsmöglichkeiten von Biomasse. Untersuchung im Auftrag von BGW und DVGW. Band 1: Gesamtergebnisse und Schlussfolgerungen* [en línea] Wuppertal Institut für Klima Umwelt Energie, enero 2006. "BGW/DVG-Study". <<http://www.biogaspartner.de/fileadmin/biogas/Downloads/1110-report.pdf>> [Consulta: noviembre 2009].
- *Red Europea de la Digestión Anaerobia (The European Anaerobic Digestion Network)* [en línea]. <<http://www.adnett.org/>> [Consulta: abril 2009].
- Schenkel, Y. *Deliverable 1: Update on the ongoing AD research activities and results. Project N.º 030348 (AGROBIOGAS. An integrated approach for biogas production with agricultural waste)*. [en línea] "Biogas statistics March/April 2006, Dansk Bioenergi, junio 2006" <http://www.agrobiogas.eu/fileadmin/files/agrobiogas/Agrobiogas_CRAW_Deliverable1_FinalVersion.pdf> [Consulta: noviembre 2009].

Artículos

- Holm-Nielsen, J.B. *Seminar – Repowering of Biogas. 3rd generation biogas plants in Denmark – New tendencies and how to manage and monitor the anaerobic digestion processes*. New Energy Fair. 12 de marzo, 2009. Husum, Alemania.
- Holm-Nielsen J.B., Al Seadi, T. *Biogas in Denmark. State of the art and rapid developments – From 2008 and onwards*. IEA – Bioenergy, Task 37 BIOGAS. Meeting 17-18. April, 2008, Ludlow, UK.
- Köttner M., 2008. *International Biogas Training Course 2008*. Internationales Biogas und Bioenergie Kompetenzzentrum (IBBK). septiembre, 2008. Stuttgart, Alemania.
- Piccinini S. *State of the art of biogas in Italy. Workshop: Biogas – a promising renewable energy source for Europe*. European Parliament. Diciembre, 2008. Brussels, Belgium.
- Raven R.P.J.M., Gregersen K.H., 2007. *Biogas plants in Denmark: successes and setbacks*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 11 (2007) 116-132.
- Tafdrup S., 2006. *Insufficient knowledge of gas from manure*. Bioenergy Research. Vol. 3, issue 14, June 2006, pp 2-3.
- Weiland P., 2008. *Impact of competition claims for food and energy on German biogas production*. Federal Research Institute for Rural Areas, Forestry and Fisheries. IEA Bioenergy Seminar. 17 de abril, 2008. Ludlow, Reino Unido.
- Wilken D., 2009. *El mercado europeo del biogás agroindustrial*. Asociación Alemana de Biogás (Fachverband Biogas e.V., FNR). marzo 2009. Jornadas GENERA.

8.2.6 Referencias ejemplos de plantas de biogás agroindustrial

- Información proporcionada por el jefe de la planta de biogás FANGEL (Dinamarca), Karsten Jensen; y por el jefe de la planta de biogás Söderäsens Bioenergi AB (Suecia), Peter Knutsson.
- Tornerhjelms. Seminario planta de biogás Wrams Gunnarstorp [en línea] *Portal Gasföreningen*. "Varför trot Wrams Gunnarstorp pa biogas produktion". <http://www.gasforeningen.se/upload/files/seminarier/gasdagarna2006/foredrag/3_rudolf%20tornerhjelms.pdf> [Consulta: noviembre 2009].
- *Proveedor plantas de biogás Bigadan* [en línea]. <<http://www.bigadan.dk/eng/cases/biogas-cases/page/Soderaasens-Bioenergi-AB>> [Consulta: noviembre 2009].
- *Report. Biogas from manure and waste products. Swedish case studies*. [en línea]. <<http://swentec.se/Documents/Swentec/Bibliotek/Biogas%20from%20manure%20and%20waste%20products%20-%20Swedish%20case%20studies.pdf>>. [Consulta: noviembre 2009].

www.idae.es

IDAE: Calle Madera 8, 28004, Madrid, Tel.: 91 456 49 00, Fax: 91 523 04 14
mail: comunicacion@idae.es

