

Producción de biogás

Perspectivas y experiencias del sector danés del biogás.



Dinamarca es líder internacional en la producción de biogás.

PUBLICACIÓN

Food & Bio Cluster Denmark,
Niels Pedersens Allé 2, 8830
Tjele, Denmark

IMAGEN DE PORTADA
Nature Energy

AUTORES

Michael Stöckler, Food &
Bio Cluster Denmark; Bodil
Harder, Daniel Berman
y Thomas Young Hwan
Westring Jensen, Danish
Energy Agency

COLABORADORES

Reza Jan Larsen,
Biogasclean; Niels
Østergaard, SEGES; Jørgen
Fink, Nature Energy; Lars
Villadsgaard Toft, SEGES;
Anna-Marie Bøgh, Kemira

REVISIÓN

Claus Gunge Mortensen y
Louise Krogh Johnson, Food
& Bio Cluster Denmark

PRODUCCIÓN

Food & Bio Cluster Denmark

DISEÑO GRÁFICO

DANSK DESIGNRUM
Trine Elmstrøm
www.danskdesignrum.dk
Marie Poulsen
Food & Bio Cluster Denmark

CON EL APOYO DE

The Danish Industry
Foundation

FECHA

Junio 2020

Índice

1.0	Introducción	5		
2.0	La política danesa de gestión de deyecciones ganaderas	7		
2.1	Plan de apoyo al biogás en Dinamarca	8		
2.2	El modelo danés de gestión del mercado de gas natural renovable	10		
2.3	Plantas de biogás ecológico	12		
3.0	El diseño de una planta de biogás	13		
4.0	La producción de biogás de Dinamarca	15		
4.1	Planificar una planta de biogás	17		
4.2	El plan de negocio y su comunicación	17		
4.3	Biomasa disponible	17		
4.3.1	Deyecciones ganaderas	18		
4.3.2	Residuos industriales	22		
4.3.3	Residuos domésticos	22		
4.4	Plantas depuradoras de aguas residuales	25		
4.5	Valor energético	25		
4.6	Balance de masas	26		
4.7	Organización de un planta de biogás	26		
4.8	Caso Månsson			
	- Una alianza para producir biogás ecológico de forma sostenible	26		
5.0	Usos del biogás	29		
5.1	Pérdidas de biogás	29		
5.2	Estándares daneses de calidad de gas	30		
5.3	Conversión a biometano (upgrading)	30		
5.3.1	Desulfurización	31		
5.4	Precipitación química del azufre	34		
5.4.1	El hierro como macronutriente	35		
5.4.2	Los oligoelementos como micronutrientes	34		
5.4.3	Los principios químicos que amparan los procesos anaerobios	35		
	5.5 Cogeneración de electricidad y calor (CHP)	35		
	5.6 Transporte y logística	36		
	5.7 El almacenamiento y conversión (power2x)	37		
6.0	El uso del digestato	39		
6.1	Valorización y reutilización como fertilizante	39		
6.2	Contenido en nutrientes	40		
6.3	Valor de los nutrientes	40		
6.4	Métodos de aplicación y pérdidas de amoníaco	44		
7.0	Mitigar el riesgo de provocar problemas ambientales	47		
7.1.1	Evitar la propagación de enfermedades	47		
8.0	Investigación y desarrollo	48		
8.1	Universidades	48		
8.1.1	Universidad de Aarhus	48		
8.1.2	Universidad de Aalborg	48		
8.1.3	Universidad del Sur de Dinamarca	48		
8.1.4	Universidad de Roskilde	49		
8.1.5	Universidad Técnica de Dinamarca	49		
8.2	Centros tecnológicos y de conocimiento	49		
8.2.1	Instituto Tecnológico Danés	49		
8.2.2	Biogas Denmark	50		
8.2.3	SEGES	50		
8.2.4	Food and Bio Cluster Denmark	50		
9.0	Empresas, proveedores y consultores	50		

**Dinamarca tiene
una de las mayores
cargas ganaderas
del mundo.**



1 Introducción

Dinamarca tiene una de las mayores cargas ganaderas del mundo. Esta circunstancia, junto con el hecho de estar rodeada de una naturaleza vulnerable como la del mar Báltico, ha allanado el camino al considerable esfuerzo realizado en desarrollar competencias y tecnologías innovadoras para la gestión de las deyecciones ganaderas de una forma segura para el medioambiente.

La creciente sensibilización ante el agotamiento de los recursos y los desafíos climáticos ha puesto de manifiesto las enormes posibilidades de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero que genera la ganadería, utilizando el potencial energético y fertilizante de las deyecciones ganaderas. Muchos productores daneses de ganado porcino y vacuno aprovechan las deyecciones de sus animales para producir biogás, en su mayoría en plantas de biogás centralizadas, que son propiedad de cooperativas de agricultores y ganaderos.

El uso de purines y estiércol como fertilizante orgánico es un tema que suscita un gran debate, debido a que los fertilizantes orgánicos son una importante fuente de nutrientes para la agricultura, pero, si no se gestionan correctamente, también pueden tener un impacto negativo para el medioambiente. Con el fin de garantizar un uso eficiente de los fertilizantes orgánicos y sus nutrientes, y por tanto, un menor impacto medioambiental, las empresas danesas trabajan constantemente en mejorar las técnicas de aplicación de fertilizantes al suelo. Los centros de investigación y las universidades danesas han llevado a cabo numerosos ensayos de campo para determinar las mejores estrategias de aplicación. Este esfuerzo ha cambiado

por completo la forma de aplicar los purines y el estiércol durante los últimos 20 años.

Paralelamente, la UE y sus Estados miembros han ido introduciendo normas, para minimizar el impacto medioambiental de los fertilizantes orgánicos, que han tenido repercusiones en los métodos de aplicación.

La producción de biogás en Dinamarca ha aumentado rápidamente desde 2012 y se espera que en 2023 el 30 % del gas que circule por la red gasista sea renovable. En Dinamarca se utilizan cada año más de 11 millones de toneladas de biomasa para producir biogás y fertilizantes.

Esta publicación está dirigida a todos aquellos interesados en una innovadora aproximación al desafío actual de reducir los efectos ambientales y climáticos de la creciente demanda de alimentos de origen animal, que a su vez genera cada vez mayores volúmenes de residuos agroganaderos y urbanos, al mismo tiempo que se aumenta la generación de energía renovable y se producen fertilizantes naturales de valor añadido.

Dinamarca es líder mundial en generación de energía eólica y en la fabricación de aerogeneradores, pero también está a la cabeza en producción de biogás.



2 La política danesa de gestión de deyecciones ganaderas

Las firmes políticas y leyes del gobierno han fomentado el desarrollo de soluciones tecnológicas avanzadas para la gestión de las deyecciones ganaderas en Dinamarca.

Las deyecciones ganaderas siempre se han considerado un recurso importante en Dinamarca ya que la agricultura desempeña un papel fundamental en su economía. El sector agrícola danés se caracteriza por grandes volúmenes de producción ganadera que, por ejemplo, sitúan al país como uno de los principales exportadores de carne de cerdo del mundo. Cada año se producen en Dinamarca unos 35 millones de toneladas de deyecciones ganaderas, lo que equivale a 6 toneladas por cada uno de sus 5,8 millones de habitantes.

Política medioambiental. Hasta principios de los años 80, las deyecciones del ganado se consideraban sólo como un fertilizante natural que en las décadas de los 60 y 70, debido a la presión por conseguir productividades de los cultivos cada vez más altas y el bajo precio de la energía, cedió el paso a los fertilizantes minerales. Sin embargo, en 1985, debido a los crecientes problemas de lixiviación de nutrientes y de calidad del agua, el Gobierno danés puso en marcha el llamado plan NPO. Este plan introdujo requisitos para reequilibrar la relación entre superficie cultivada y cabezas de ganado, además de fijar la capacidad mínima de almacenamiento de deyecciones en las granjas. Desde entonces, las cada vez más estrictas normas, tanto de la UE como del gobierno danés, han provocado un desarrollo tecnológico que ha conseguido que en la actualidad se usen enormes cantidades del Nitrógeno (N) y Fósforo (P) que contienen las deyecciones como nutrientes para la agricultura, con casi la misma eficacia que los fertilizantes minerales. De esta manera se ha aliviado la carga medioambiental de N y P, y a los agricultores de adquirir fertilizantes minerales.

Hoy en día, las consideraciones medioambientales van más allá: no solo es cuestión de proteger el medioambiente de la contaminación, sino también de lograr la eficiencia de los recursos y usarlos de fuentes locales, como la fracción orgánica de los residuos urbanos, unido a la preocupación por el agotamiento de las reservas mundiales de Fósforo y de combustibles fósiles.

Políticas climáticas. El reconocimiento del calentamiento global y sus efectos nocivos, tanto en Dinamarca como a escala internacional, llevó a la introducción de políticas para atenuar su impacto. Mediante el Protocolo de Kioto de Naciones Unidas Dinamarca se comprometió a reducir sus emisiones de CO₂ ya a partir de 2005.

Aspectos de bioseguridad. El paquete de higiene alimentaria de la UE de 2003 determina que la seguridad de los alimentos depende de todos los eslabones de la cadena de suministro, del campo a la mesa, donde las granjas forman parte de la cadena de suministro alimentaria. La seguridad alimentaria aborda la contaminación de los alimentos con microbios, plásticos, productos químicos y cuerpos extraños. En el caso de las explotaciones ganaderas, para garantizar una alta calidad de los alimentos es fundamental prevenir la contaminación de los productos, como por ejemplo la contaminación de leche por estiércol de ganado. En Dinamarca se elaboró un Código de Higiene (directrices nacionales) fruto de la cooperación entre las organizaciones sectoriales y las autoridades, entre otras las veterinarias. Además, se han establecido varios sistemas privados de certificación de calidad. Como consecuencia de la atención prestada a la seguridad e higiene alimentaria, han aumentado los requisitos exigidos a las tecnologías de gestión de deyecciones ganaderas, de modo que no se produzcan fugas y los equipos sean fáciles de limpiar.

Incentivos al mercado del biogás en Dinamarca:

- Programas de apoyo específicos del gobierno
 - Ayuda a las inversiones
 - Primas y tarifas reguladas
- Restricciones a la aplicación de Nitrógeno y Fósforo en los campos
- Prohibición del vertido de residuos orgánicos en vertederos (1998)
- Objetivo nacional de reusar como mínimo el 50 % de los residuos sólidos urbanos en 2023
- Tasas de tratamiento de residuos => Codigestión
- Programas de seguimiento de los retos tecnológicos
- Admisión de biometano en la red de gas natural
- Obligación de mezcla de biocombustibles en el transporte (5,75-10 %)

La producción de biogás en Dinamarca está aumentando rápidamente.

2.1

Plan de apoyo al biogás en Dinamarca

La tecnología danesa de biogás se ha desarrollado durante 30 años con el apoyo de diferentes incentivos y programas de subvenciones. El anterior programa, puesto en marcha en 2012, aceleró el desarrollo e hizo aumentar la producción de biogás, así como la cantidad de gas renovable (biometano) en la red de gas natural.

La producción de biogás vincula la producción de energía al tratamiento de las deyecciones ganaderas y los residuos orgánicos. En Dinamarca, las deyecciones ganaderas y los residuos orgánicos procedentes de la industria, el sector servicios y los hogares suelen co-digerirse en plantas de biogás, que se denominan agroindustriales.

Cuando las deyecciones se utilizan para producir biogás se reducen las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de su gestión y almacenamiento. El biogás es un gas renovable que puede reemplazar al gas natural de origen fósil cuando es convenientemente depurado. Además, la producción de biogás genera como subproducto un fertilizante natural de alta calidad que sustituye a los fertilizantes minerales.

La producción de biogás en Dinamarca está aumentando rápidamente: se ha multiplicado por cuatro entre 2012 y 2020, alcanzando una producción anual de alrededor de 20 PJ. Hasta hace poco, la mayoría del biogás producido se usaba en la generación de electricidad. Hoy en día, el biogás es depurado y convertido en biometano, el cual es inyectado en la red de gas, reemplazando al gas natural de origen fósil, y siendo utilizado para todo tipo de usos en cualquier sector: industria, transporte, calefacción y generación eléctrica.

Evolución reciente y prevista de la producción y uso del biogás en Dinamarca 2012-2020 (PJ).



FIGURA 2.1

Producción y uso de biogás reciente y prevista en Dinamarca.

Producción de biogás prevista hasta 2025 en PJ

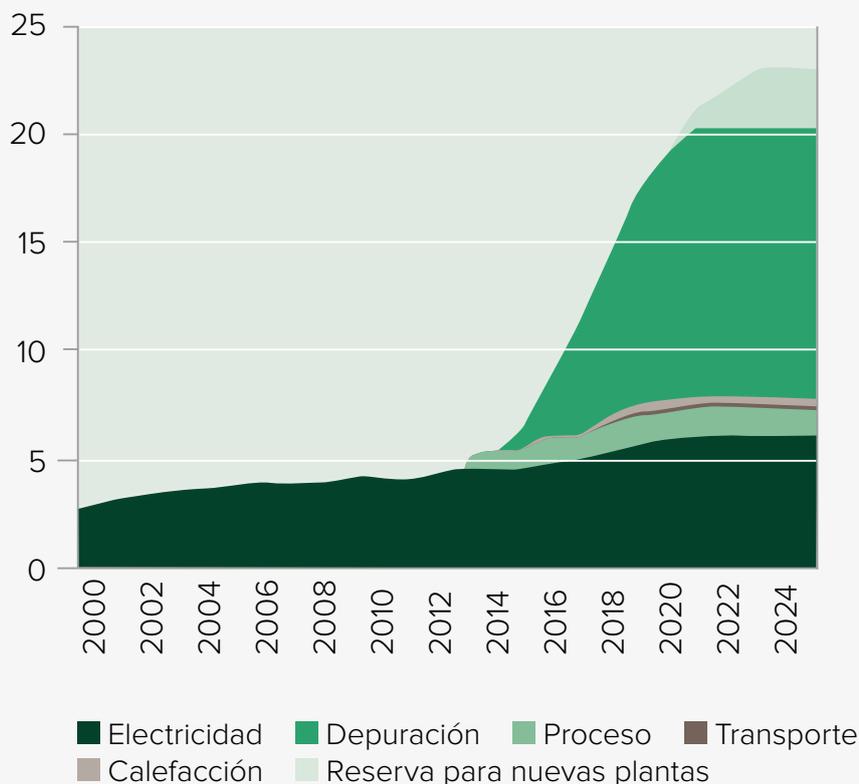


FIGURA 2.2

Producción de biogás prevista hasta 2025 en PJ/año.

En 2018 el biometano supuso aproximadamente el 8% del consumo de gas en Dinamarca, una cifra récord en la UE, y se espera que el 30 % del gas de la red de gas natural sea renovable en 2030. La figura 2.1 muestra datos históricos y previstos de la producción de biogás y sus usos en Dinamarca entre 2012 y 2020. Las 32 plantas de biogás danesas que convierten biogás en biometano produjeron 7,2 PJ (1.993 GWh) de biometano en 2018.

Incentivos a la producción de biogás. El grado de desarrollo actual de la producción de biogás en Dinamarca se ha logrado mediante un conjunto de incentivos ligados a las normativas medioambiental, agrícola y energética que, entre otros, incluyen:

- Programas de apoyo específicos para el biogás por parte del gobierno
- Impuestos al consumo de combustibles fósiles
- Limitación en la aplicación de Nitrógeno y Fósforo en los campos
- Prohibición de verter residuos orgánicos en vertederos desde 1998
- Tasas al tratamiento de residuos
- Diálogo e iniciativas conjuntas con los actores clave, como programas de seguimiento o la creación de un grupo de trabajo sobre biogás
- Apoyo a la investigación, desarrollo y demostración de nuevas tecnologías
- Limitación del uso de cultivos energéticos en la producción de biogás

Programas de apoyo del gobierno. Según los programas de apoyo aprobados por el gobierno en 2012, los siguientes usos del biogás eran susceptibles de recibir subsidio, en forma de primas o tarifas:

- Producción de electricidad
- Suministro, una vez depurado, a la red de gas natural, o limpio, a una red urbana de gas
- Procesos industriales
- Combustible para transporte
- Calefacción

Para poder optar a recibir el subsidio, los cultivos energéticos no pueden superar el 5% de todos los sustratos utilizados para la producción de biogás. El beneficiario del subsidio es el usuario final del biogás. Esto incluye a las plantas depuradoras de biogás, que lo convierten en biometano.

En 2012 también se aprobó un esquema de subvenciones a la inversión para la construcción de plantas de biogás. Este programa concluyó en 2016.

El incremento en la producción de biogás, junto con los bajísimos precios del gas natural, hicieron aumentar considerablemente los costes de estos programas, lo cual provocó la decisión política, plasmada en el Pacto Nacional Danés de Energía (junio de 2018) de detener los programas de apoyo acordados en 2012 para nuevas plantas de biogás, a partir de 2020. En su lugar, se deberá formu-

lar e implementar un nuevo Programa para los gases renovables que incluya el biometano y otros gases como el hidrógeno y el gas metanizado. Con este nuevo modelo se pretende mantener el ritmo de crecimiento del biogás en Dinamarca, así como la mejora continua de su eficiencia. Una parte de la financiación se destina específicamente a la producción de biogás ecológico.

El hecho de que el nuevo modelo se concentre en los gases renovables en lugar de la producción directa de electricidad a partir de biogás se debe a que Dinamarca ya cuenta con una elevada proporción de electricidad renovable en su sistema energético y se aproxima a una situación en la que se necesitará energía eléctrica de respaldo procedente de otras fuentes renovables, que no sean la energía eólica y la solar.

2.2 El modelo danés de gestión del mercado de gas renovable

El modelo de mercado del gas natural renovable en Dinamarca consiste, a grandes rasgos, en los tres elementos siguientes:

- Mercado: comercialización en el mercado de gas convencional.
- Red: transporte físico del gas renovable dentro de la red de gas
- Valor "verde": comercio virtual del valor «verde» del gas renovable.

Comercialización y transporte del biogás en el mercado de gas convencional

A fin de comercializar el biogás en el mercado de gas convencional, el productor de biogás o la instalación de conversión a biometano debe concertar un acuerdo con una comercializadora de biogás o registrarse como tal ante el Operador Técnico del Sistema en Dinamarca, Energinet.

Además, también se requiere que la comercializadora establezca un acuerdo con un distribuidor o se registre como tal. Esto se debe a que los distribuidores son los responsables de la inyección del biometano en la red de distribución de gas natural.

Cuando el biometano se inyecta y se incorpora al flujo de gas natural, ya no es posible hacer una distinción entre las moléculas de gas natural convencional, de origen fósil y las de gas renovable. Así pues, tan pronto como el biometano entra en la red de gas, se le considera como gas natural y será comercializado en las mismas condiciones, incluyendo el precio.

Comercialización virtual

Al no ser posible distinguir físicamente el biometano una vez inyectado en la red, para poder diferenciarlo se han establecido varios sistemas de comercio virtual basados en los requisitos y la demanda del mercado.

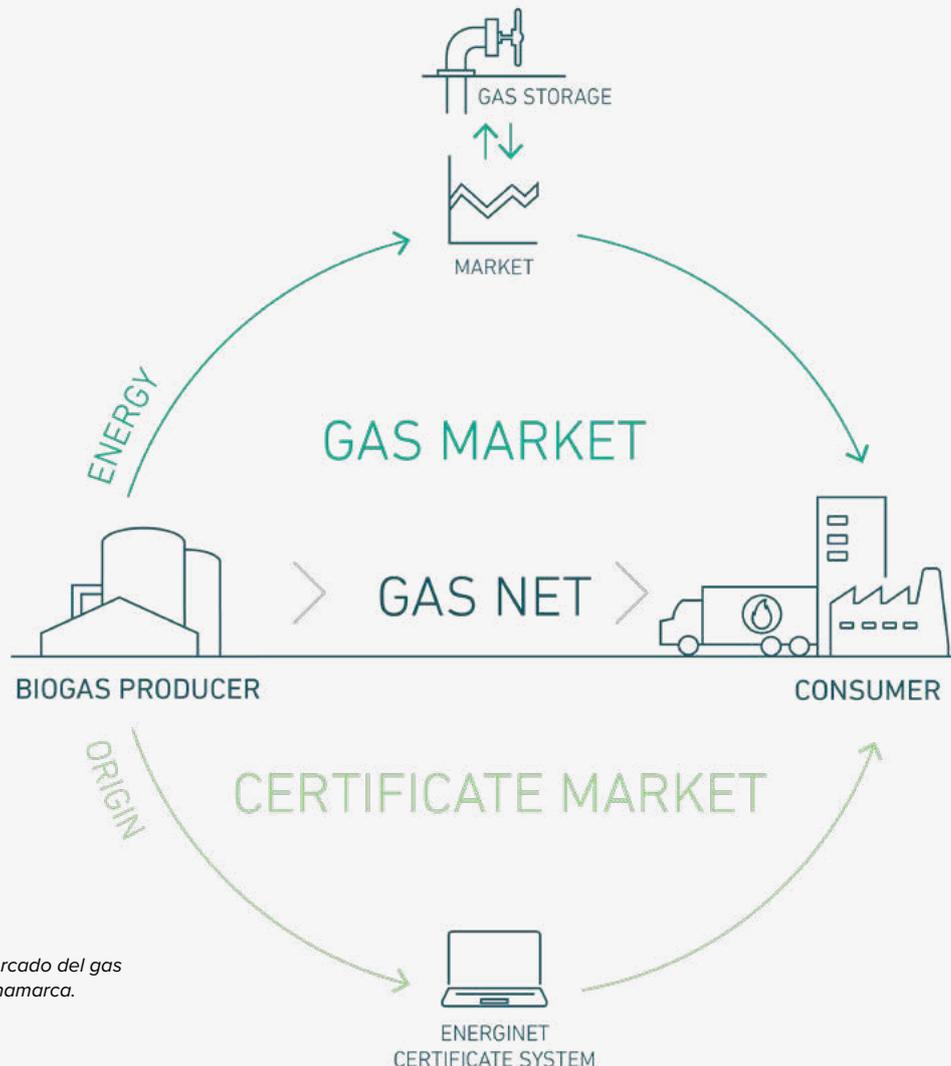


FIGURA 2.3
El modelo de mercado del gas renovable en Dinamarca.

Garantías de origen

En Dinamarca y algunos otros países europeos se han establecido registros nacionales de Garantías de Origen (GO) con el fin de documentar los atributos renovables del biometano inyectado a la red de gas. La función de un registro GO es verificar que la energía comerciada proviene de fuentes renovables y que la cantidad comprada en una operación sólo se vende esa vez, evitando la doble contabilización de operaciones.

Las GO se consideran un instrumento de mercado que puede ser utilizado por hogares y empresas que decidan voluntariamente que una parte o todo su consumo de gas provenga de fuentes renovables. Las compras de GO se han llevado a cabo principalmente por empresas como parte de sus estrategias de Responsabilidad Social Corporativa y, en menor medida, por particulares. Recientemente, algunos ayuntamientos también han empezado a comprar GO para introducir el gas renovable como combustible en sus flotas de transporte público.

Las GO están reconocidas por el Régimen de Comercio de Derechos de Emisión de la UE (RCDE UE), lo que significa que las instalaciones y empresas incluidas en el RCDE UE pueden utilizar las GO adquiridas para compensar emisiones de CO₂ en su balance RCDE EU.

En la UE, los proveedores de combustible están obligados a disponer de un determinado porcentaje de combustibles renovables en su

portafolio. Los bio-tickets solo se emiten para aquellos proveedores de combustible que superan su cuota mínima, los cuales se los pueden vender a aquellos que no la alcancen. Se supone que una gran parte de las GO se utilizan en este tipo de operaciones entre proveedores de combustible.

La gran mayoría de los países de la Unión Europea todavía no han establecido un registro para las GO, y los que lo han hecho, usan diferentes reglas y sistemas informáticos. Por el momento, sólo se realizan operaciones entre los registros de Dinamarca y Alemania.

Para que las operaciones transfronterizas sean más transparentes y fiables, todos los registros europeos han constituido una asociación paneuropea (Registro Europeo de Gas Renovable) con el objetivo de que se convierta en una entidad con capacidad para gestionar las diferencias entre las normas y los sistemas informáticos de sus miembros.



FIGURA 2.4
Planta de biogás ecológico de la empresa Månsson.
FOTO Nature Energy

Ejemplo: Garantías de origen

Un productor de biogás realiza la conversión a biometano mediante una instalación de depuración (upgrading). El propietario de la instalación de depuración se conecta y suministra el biometano a la red de gas. Las distribuidoras de gas son responsables de la distribución física y de la gestión del gas. El contenido energético del biometano se comercializa en el mercado gasista como si se tratara de gas natural convencional. El valor “verde”, como por ejemplo las propiedades renovables y/o la reducción de emisiones de CO₂ se comercializan virtualmente a través de diversos esquemas, como las ya mencionadas garantías de origen.

Las garantías de origen se emiten a nombre del productor del biometano y son transferidas entre los titulares de cuentas en el registro nacional de garantías de origen. Cuando el consumidor final adquiere garantías de origen por un determinado consumo de gas, recibe la garantía del sistema de que dicho consumo ha sido de gas renovable y, por tanto, puede obtener la correspondiente reducción de CO₂.

2.3 Plantas de biogás ecológico

Los agricultores ecológicos tienen un interés especial en las plantas de biogás. Para ellos el principal incentivo no es la producción de biogás en sí, sino la producción de fertilizantes ecológicos.

La planta Månsson, propiedad de Nature Energy, es una planta de biogás ecológica de gran tamaño, con una capacidad de hasta 6 millones de metros cúbicos de biometano al año. El biometano se inyecta a la red nacional de gas natural, lo que significa que más de 3.600 hogares pueden hoy consumir un gas renovable que es neutral en emisiones de carbono.

La planta recibe principalmente estiércol de ganado vacuno y gallinaza ecológicos, pero también purines de ganado porcino y visones de explotaciones convencionales. Además, la planta recibe además biomasa vegetal: residuos procedentes de la producción hortícola de Axel Månsson A/S y trébol ecológico.

Al ser las cantidades de biomasa ecológica y convencional utilizadas en la planta muy similares, el residuo orgánico resultante de la producción de biogás es aprovechable como fertilizante en agricultura ecológica.

La planta consta de una serie de tanques de digestión, de mezcla y de almacenamiento. Los camiones descargan la biomasa en la zona de recepción y posteriormente cargan el fertilizante para transportarlo al lugar de aplicación. Toda la producción se realiza en sistemas cerrados, lo que, entre otras cosas, significa que todos los tanques son estancos y que las operaciones de carga y descarga se realizan a puerta cerrada. La sala de procesos y los tanques están equipados con un sistema de ventilación continua que cambia todo el aire varias veces cada hora. Antes de que el aire sea expulsado al exterior, pasa por unos filtros que lo purifican usando microorganismos y aseguran que el olor es reducido al máximo. Los camiones se lavan a conciencia después de cada viaje y toda la planta está rodeada por un terraplen.

Nature Energy Månsson produce biogás a partir de 150.000 toneladas de deyecciones ganaderas, trébol orgánico y residuos hortícolas.

El biogás y la agricultura ecológica van de la mano. Cuando las deyecciones líquidas, los residuos vegetales y el trébol, junto a otros residuos orgánicos, son tratados en la planta de biogás, se extrae el gas de la biomasa quedando un fertilizante natural. Este fertilizante supone un mayor rendimiento de los cultivos, facilita la absorción de nutrientes por las plantas, reduce la lixiviación de nitrógeno hacia el medio acuático y además, está higienizado.

Los fertilizantes ecológicos son un recurso escaso en Dinamarca, lo que puede suponer un reto en un momento en que la demanda de productos ecológicos está en auge. No obstante, gracias a la contribución de una planta de biogás, los agricultores ecológicos pueden llegar a ser autosuficientes.

**No se trata sólo
de producir biogás,
sino de producir
fertilizantes
ecológicos.**

3 El diseño de una planta de biogás

El sector danés del biogás se ha especializado en el diseño y construcción de plantas de biogás y sus componentes. Algunos de los principales componentes, cuyo diseño y funcionalidad son cruciales para la productividad y economía de una planta de biogás, son los equipos de pretratamiento de biomasa, los tanques de digestión (reactores) y sus mezcladores, así como la planta de conversión a biometano (upgrading).

Una importante característica de los tanques de digestión es su capacidad para mantener una temperatura interior estable, independientemente de la temperatura exterior, minimizando la demanda de energía. El material aislante es relativamente económico y su grosor no debería ser nunca demasiado delgado; se recomiendan

Termófila o mesófila

- La digestión anaerobia termófila es la tecnología más utilizada en Dinamarca.
- Con tiempos de retención cortos (<20 días) el proceso termófilo produce aprox. un 30% más de biogás que el mesófilo, cuando se trata de digerir biomasa de degradación lenta como el estiércol de ganado vacuno.
- Un proceso termófilo puede ser problemático si la biomasa tiene un alto contenido de amoníaco (> 3 gr. de $\text{NH}_4\text{-N}$ por litro)

Rangos de temperatura

- Psicrófilo (10 °C - 25 °C)
- Mesófilo (25 °C - 45 °C)
- Termófilo (50 °C - 60 °C)

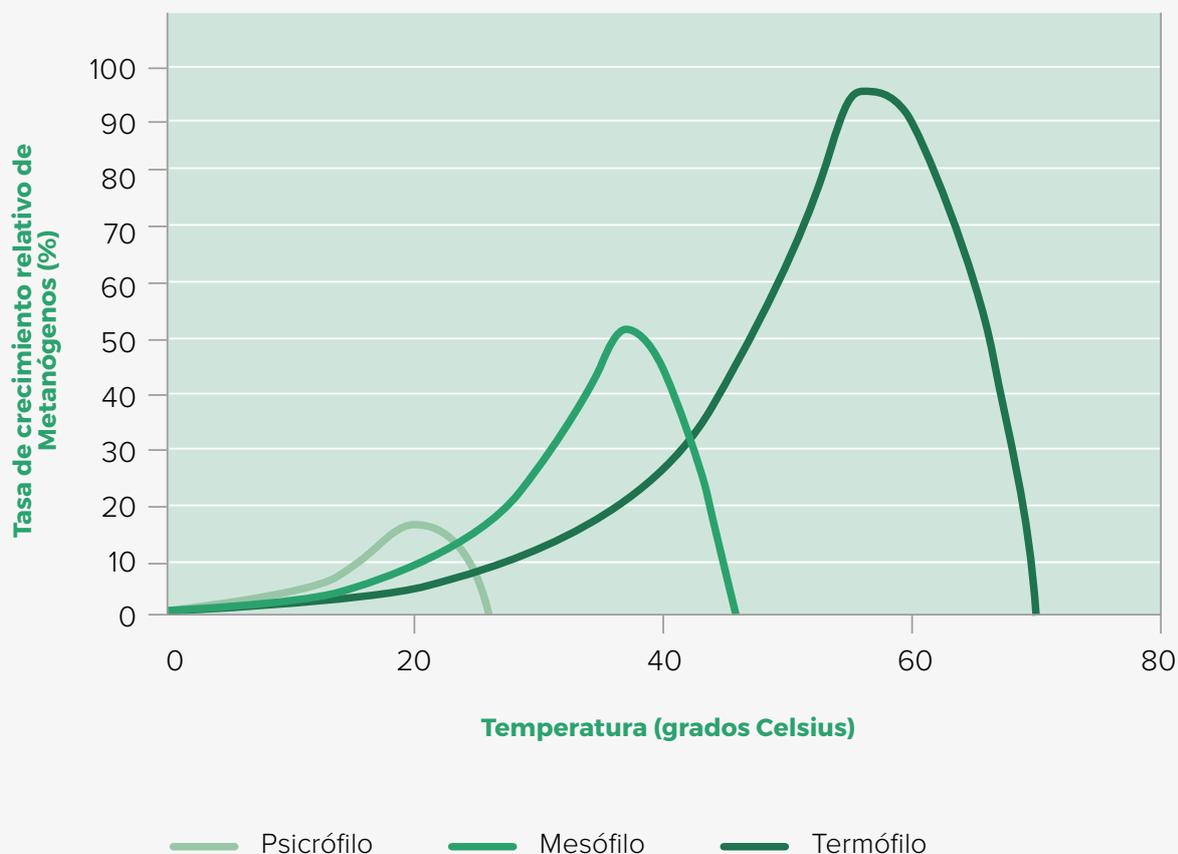


FIGURA 3.1
Tasas de conversión en plantas de biogás.



FOTO Nature Energy

	Mesophilic	Thermophilic
Producción de gas	Menos sensible a un alto nivel de amoníaco y otros inhibidores.	Proceso más rápido y que produce más biogás con el mismo tiempo de retención. Sensible a un alto nivel de amoníaco.
Digestato	Inactivación moderada de patógenos.	Alto grado de inactivación de patógenos.
Energy input	Moderate	Alto, a menos que se incluya un intercambiador de calor. El intercambiador es relevante si el coste de la energía es alto.

FIGURA 3.2

Planta de Nature Energy en Korsko.

20-30 cm para los procesos termófilos y 15-20 cm para los mesófilos. Mantener una temperatura estable es crucial para optimizar la producción de biogás.

Las soluciones flexibles de pretratamiento ofrecen al propietario de la planta de biogás la oportunidad de incorporar diferentes tipos de biomasa, lo que puede suponer una fuente de ingresos adicional, si estos residuos y biomasa conllevan asociadas tasas de tratamiento.

Los intercambiadores de calor en una planta de biogás son una inversión rentable si el coste de la energía es elevado, sobre todo en el caso de las plantas termófilas.

En Dinamarca, a menudo se toma la decisión de construir dos tanques digestores conectados en serie, un digestor primario y uno secundario, lo que permite producir y capturar un 10-15% más de biogás.

Mezclar bien el contenido de los tanques digestores es importante para que los microbios productores de metano (metanógenos) dispongan de las mejores condiciones y para hacer posible que el biogás se libere del digestato. Esta operación se realiza a menudo con mezcladores (agitadores) de hélice sumergidos. La mayor parte del consumo de electricidad en una planta de biogás se emplea

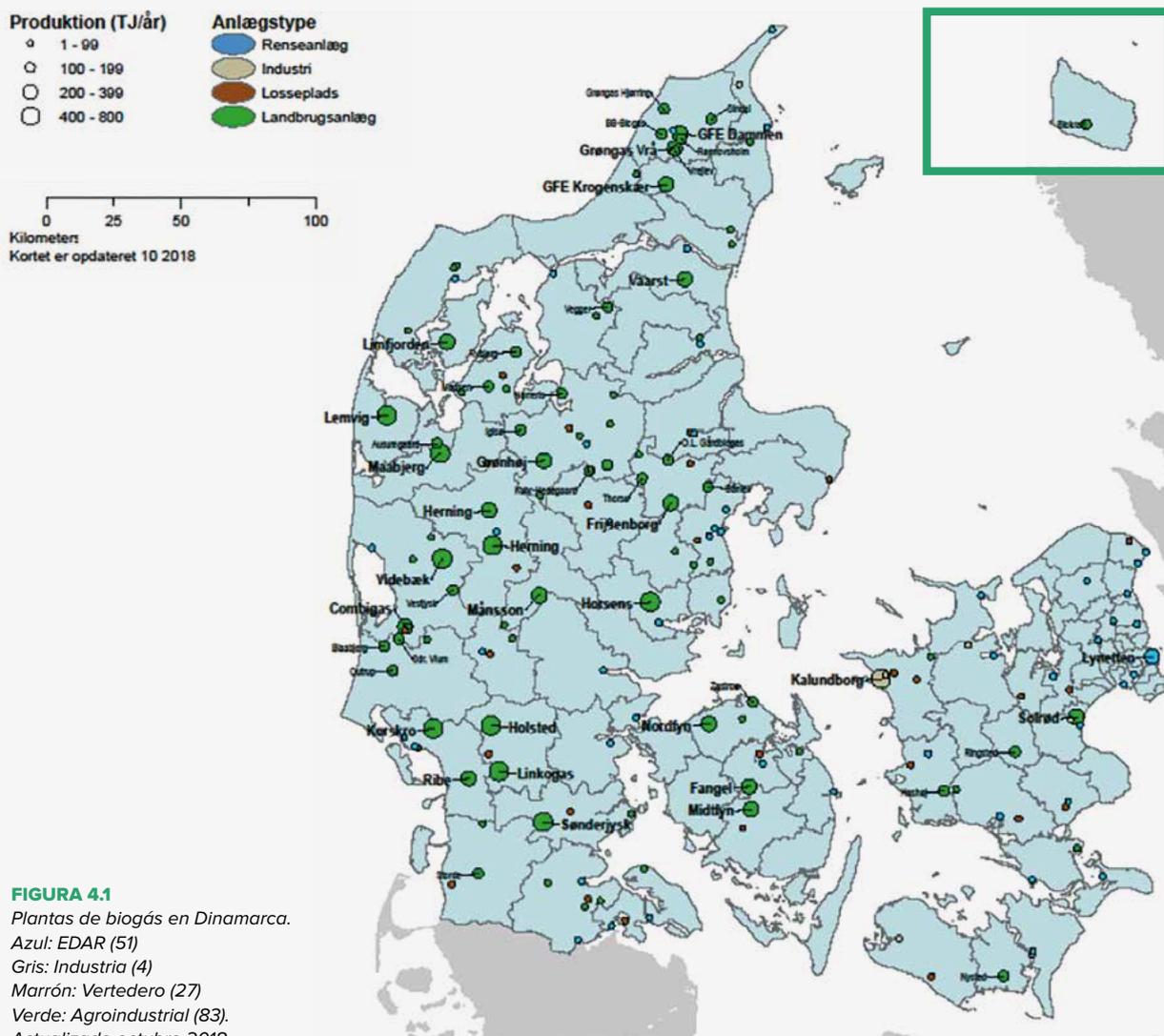
Un diseño adecuado garantiza una producción eficiente.

en calentar los tanques del digestor y mezclar su contenido. Por lo tanto, un proceso de mezcla eficiente energéticamente es uno de los principales factores de éxito para obtener una producción rentable de biogás. El consumo de energía para mezclar biomasa con un alto contenido de deyecciones, se optimiza cuando los tanques digestores son cilíndricos y su altura mayor que su diámetro.

La separación de las deyecciones en fracciones líquida y sólida suele ser una tecnología independiente al resto de la planta de biogás. Sin embargo, este tipo de equipos se instalan frecuentemente en las plantas, antes y/o después de la digestión.

4 La producción de biogás en Dinamarca

La mayor parte de la producción de biogás en Dinamarca se basa en grandes plantas centralizadas con tanques reactores de mezcla continua (CSTR), co-digestión e instalaciones propias de conversión a biometano, con inyección directa a la red de gas natural.



**Una buena planificación
es crucial para el éxito.**



4.1

Planificar una planta de biogás

La planificación de una planta de biogás y la organización de los interesados e interlocutores (stakeholders).

La producción de biogás, o digestión anaerobia, consiste en una serie de procesos biológicos que se producen en el interior del tanque reactor, donde las moléculas orgánicas de la biomasa introducida son descompuestas por micro-organismos, en ausencia de oxígeno, produciendo un conjunto de gases denominado biogás, que está compuesto principalmente de metano (NH_4) y dióxido de carbono (CO_2).

Planificación de la planta. Una planta de biogás es compleja tanto en su configuración tecnológica como en sus operaciones, por lo que se requieren amplios conocimientos en disciplinas como, entre otras, ingeniería, biología, química, agricultura, logística y economía. Por tanto, la participación de una empresa de consultoría especializada y profesional es crucial para conseguir una planta de biogás eficiente y rentable. Las empresas de consultoría pueden participar de diferentes maneras en el proyecto, y los servicios más importantes que pueden prestar son, entre otros, estudios de viabilidad, solicitudes de licencia medioambiental, preparación de pliegos, selección de proveedores, preparación de contratos, supervisión de la construcción y puesta en marcha de la planta.

Muchas partes interesadas participan en el proceso de planificación y, con el fin de optimizar el proceso, es una buena idea describir cada una, así como su papel en el proceso.

A continuación figura una lista de las partes interesadas que suelen intervenir:

- El promotor o inversor (agricultor, empresa energética, ayuntamiento)
- Socio financiero
- Proveedores de biomasa (agricultores, industrias, ayuntamientos, etc.)
- Destinatarios del digestato (agricultores, ayuntamientos, etc.)
- Compradores del biogás (empresa gasista, industria, etc.)
- Autoridades locales
- Interlocutores locales (vecinos, políticos, ONGs, asociaciones, etc.)
- Proveedores de tecnología y consultores
- Contratistas

También es una buena idea plasmar la organización del proyecto y las actividades a realizar, lo que proporcionará una visión general de las personas involucradas, tanto internas como externas. Este organigrama debe indicar claramente al responsable de cada actividad y quién está involucrado. En la siguiente lista se incluyen algunas de las principales actividades en la fase de planificación:

- Financiación de la planta
- Diálogo y proceso de aprobación con las autoridades
- Diseño de la planta (ubicación, edificios y tecnología)
- Diálogo y contratos con proveedores de biomasa
- Diálogo y contratos con receptores de digestato
- Diálogo y contratos con compradores del biogás
- Diálogo con interlocutores locales
- Fase de construcción
- Permisos de autoridades

Se recomienda crear grupos de trabajo para cada actividad y un comité directivo que coordine los principales aspectos de la planificación y mantenga un calendario para la adopción de decisiones importantes.

En Dinamarca, se recomienda especialmente involucrar a interlocutores locales en los grupos de trabajo. Las actividades dependen unas de otras, y por tanto es sumamente importante poner énfasis en coordinar y optimizar el proceso. Como las autorizaciones, licencias y permisos pueden ser trámites largos, será necesario disponer de la información adecuada en el momento oportuno.

4.2

El plan de negocio y su comunicación

La dirección de proyecto de una planta de biogás se centra en sus aspectos técnicos: descripciones técnicas de procesos y equipos, diagramas y planos, dirigidos principalmente a autoridades, proveedores y contratistas. Es una buena idea disponer también de materiales complementarios dirigidos a los demás interesados e interlocutores.

Un análisis de los interesados puede revelar la necesidad de proporcionar información diferente a cada grupo según sus intereses. Los socios financieros están interesados en el plan de negocio y los cálculos e hipótesis que lo sustentan. Los proveedores de biomasa y los receptores de digestato tienen interés en las condiciones comerciales, aspectos de logística, la calidad de los materiales, etc. Las autoridades están interesadas en los beneficios que la planta supone para su entorno y la energía renovable, así como en las consecuencias para la comunidad local y el medioambiente en general. Los políticos locales y vecinos se interesan por cómo afectará la existencia de la planta a su comunidad: tanto los efectos positivos: creación de empleo, energía a bajo coste, etc., como las posibles molestias: aumento de tráfico pesado, olores y ruidos, y el impacto visual.

La siguiente lista recoge documentación e información que pueden favorecer la comunicación del proyecto a todos los interesados:

- Un plan de negocios dirigido a inversores y socios financieros.
- Una publicación informal en la que se esboza la planta de biogás, dirigida a inversores, socios financieros, políticos, vecinos y demás interesados, por ejemplo mostrando plantas similares ya en funcionamiento.
- Información profesional sobre la planta de biogás que describe el proceso, sus insumos y productos finales, la tecnología, la economía, etc., dirigida a los proveedores de biomasa y a los receptores del digestato.
- Información profesional que describa la tecnología y la capacidad de producción de la planta, dirigida a los compradores del biogás.
- Solicitudes y documentación de acuerdo con los procedimientos administrativos, dirigidos a las autoridades competentes
- Descripciones técnicas y planos, dirigidos a contratistas y proveedores de tecnología.

Una parte del material: descripciones, planos, presentaciones, etc., pueden reutilizarse en la preparación de varios de los paquetes de documentación dirigidos a distintos interesados.

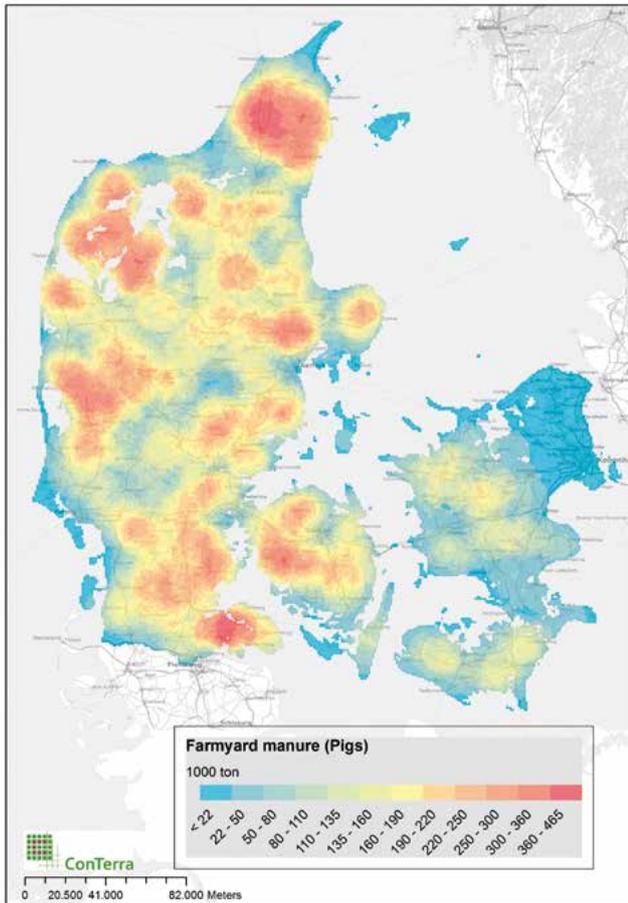


FIGURA 4.2
Distribución de los purines de ganado porcino en Dinamarca.
FOTO ConTerra.

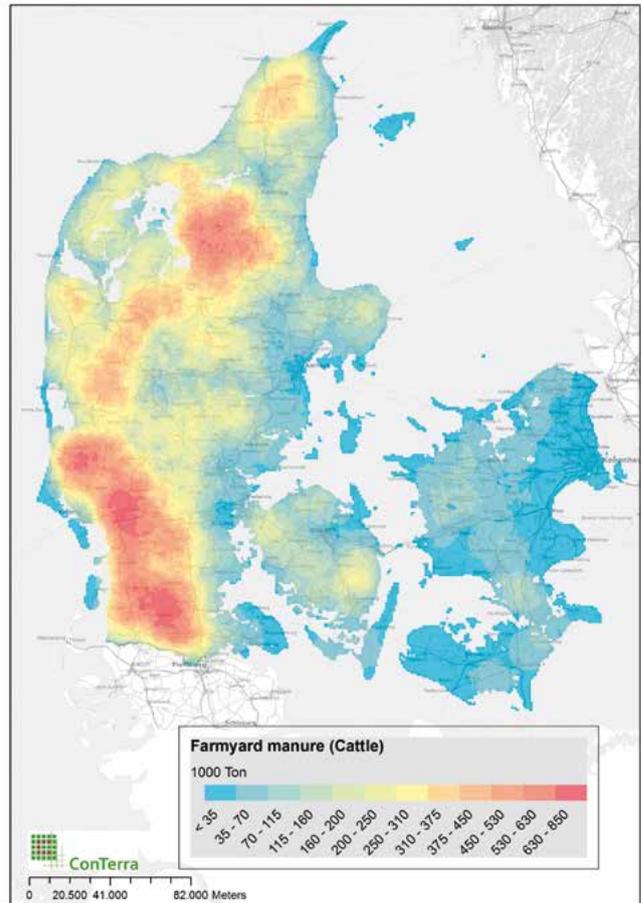


FIGURA 4.3
Distribución del estiércol de ganado vacuno en Dinamarca.
FOTO ConTerra.

La producción animal en Dinamarca se concentra principalmente en la parte occidental del país.

El objetivo es adaptar la información facilitada a las necesidades de cada interesado e interlocutor, suministrando a cada parte la información más relevante posible y una buena visión general del proyecto, demostrando que los promotores se preocupan por todos los aspectos relacionados con la planta de biogás y que son transparentes en su comunicación.

4.3 Biomasa disponible

El rendimiento de biogás por m³ de deyecciones ganaderas es limitado, por lo que tiene sentido, desde el punto de vista económico, incorporar la co-digestión con biomasa de un mayor valor energético.

Sin embargo, en la práctica hay grandes diferencias en la productividad real de las plantas de biogás debido a las diferencias en aspectos como:

- La configuración tecnológica, incluidas las tecnologías de pretratamiento
- La calidad de cada biomasa y de la mezcla final
- La operación de la planta

Algunas de las ventajas de la codigestión de los purines con residuos orgánicos de origen industrial son :

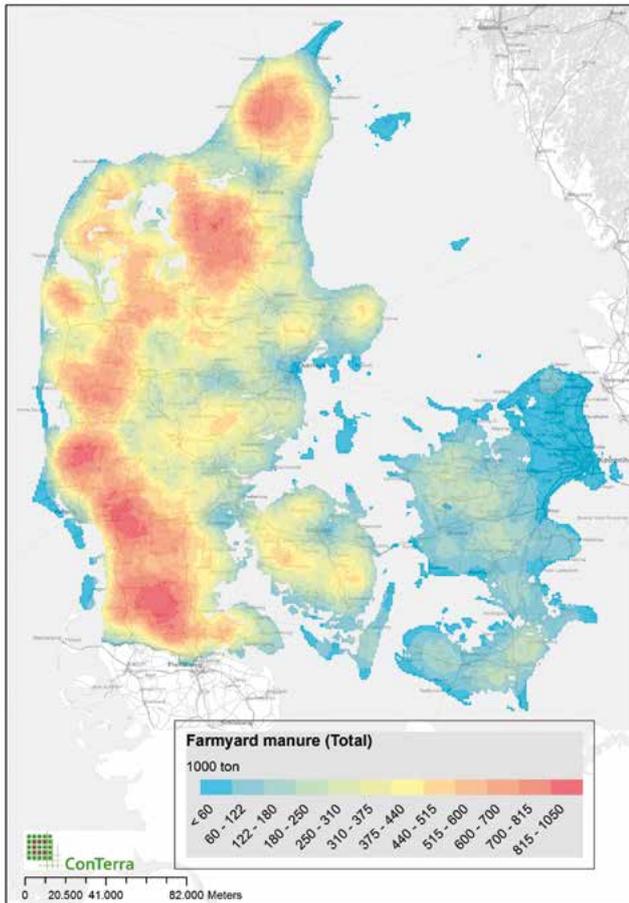


FIGURA 4.4
Distribución de la producción total de estiércol en Dinamarca.
FOTO Conterra.

- Aumento de la producción de biogás. Se obtiene un mayor rendimiento de biogás por m³ de materia prima cuando los residuos orgánicos ricos en energía se digieren junto con las deyecciones ganaderas.
- Proceso de digestión estable. La codigestión con deyecciones hace que la digestión de los residuos sea estable.
- Economías de escala: las plantas centralizadas reciben residuos de muchas industrias diferentes, por lo que son más flexibles en su manejo que muchas plantas individuales, y además permiten obtener ingresos adicionales por las tasas de recepción y tratamiento de residuos.
- Recuperación y reutilización de nutrientes. Los agricultores se responsabilizan del uso final del producto como fertilizante. Un sistema económico y sostenible medioambientalmente de valorización de los residuos orgánicos.

4.3.1 Deyecciones ganaderas

La tecnología danesa de biogás es reconocida internacionalmente por su idoneidad para procesar biomásas con un alto contenido de deyecciones ganaderas, asegurar una alta productividad energética neta, optimizando el consumo energético y por su escalabilidad, siendo una tecnología adecuada tanto para pequeñas plantas individuales como para plantas centralizadas.

Las deyecciones ganaderas son un material orgánico que consiste principalmente en una mezcla más o menos homogénea de heces y orina de ganado.

Incluido el material de cama gruesa y, secundariamente, el resto de residuos de una explotación ganadera, como restos de forraje, efluentes del ensilado y agua de proceso.

Los subgrupos más importantes de deyecciones ganaderas son:

- Purines
- Camas gruesas
- Estiércol líquido
- Estiércol sólido

Los términos para las deyecciones ganaderas son populares, y no determinados por la legislación. La legislación danesa exige que las explotaciones ganaderas tengan capacidad para almacenar purines durante un mínimo de 9 meses, calculados de acuerdo con los valores oficiales estándar según las plazas y el tipo de animal. Para poder llevar a cabo una buena gestión de las deyecciones, una condición previa es disponer de una infraestructura de almacenamiento segura y suficiente, ya que preserva su calidad y, en el caso particular de los purines, permite su uso como fertilizante durante la primavera, que es cuando los cultivos más necesitan los nutrientes.

Producción de energía a partir de deyecciones ganaderas. En Dinamarca, actualmente, alrededor del 20% de las deyecciones se utiliza para producir energía. Esta cifra sitúa a Dinamarca como uno de los países líderes en el mundo en esta materia, pero también demuestra que existe un vasto potencial aún por explotar.

El valor de las deyecciones para fines energéticos depende principalmente de su frescura y su contenido de materia orgánica, cenizas y agua.

En general, todas las deyecciones ganaderas crudas pueden ser utilizadas en un proceso de digestión anaerobia, así como algunas formas procesadas, en especial la fracción sólida de un proceso de separación de purines.

Con respecto al potencial de biogás, es una práctica común calcularlo a partir de los Sólidos Volátiles (SV). Como regla general, y a menos que existan análisis específicos, se considera que el contenido de SV de las deyecciones ganaderas es el 75 % de su contenido en Materia Seca (MS).

Gestión de las deyecciones ganaderas

Esta sección es una introducción a los términos y prácticas más comunes en materia de fertilizantes orgánicos. La guía sirve de ejemplo sobre cómo se pueden utilizar purines, camas gruesas y la biomasa desgaseificada para lograr una mayor eficiencia en el uso de nutrientes y un menor impacto medioambiental. La mejora en la gestión de las deyecciones ha permitido reducir a la mitad el consumo de Nitrógeno mineral en Dinamarca durante los últimos 25 años. Las claves de esta reducción han sido los sistemas de almacenamiento seguro y la aplicación del fertilizante en los momentos adecuados para cada cultivo, siguiendo un plan de fertilización basado en las normas vigentes, así como el uso de tecnologías innovadoras de limpieza del aire y aplicación del fertilizante al suelo. De esta manera los granjeros daneses consiguen reducir significativamente sus costes.

Madsens Biogas, una planta moderna con bioreactores, almacenamiento de biomasa y conversión biogás-a-biometano.





Independientemente de que las deyecciones ganaderas se utilicen para generar energía, el objetivo es siempre que sean de la mejor calidad posible según el sistema de producción en cada explotación ganadera, y que dicha calidad se mantenga gracias a la forma de manipularlas.

Una alta calidad de las deyecciones generalmente significa una concentración de materia orgánica tan alta como sea posible. Esto es especialmente cierto cuando se utilizan para la producción de biogás, cuyo rendimiento está directamente relacionado con el contenido de materia orgánica de las biomásas digeridas.

La materia orgánica en las deyecciones ganaderas depende en cierta medida de la dieta de los animales: contenido de sal y azúcar, Fósforo y proteínas, así como el uso de ácido benzoico y/o fitasa. Sin embargo, el tipo y la calidad de las deyecciones producidas en cada explotación vendrá determinado en gran medida por el diseño de los edificios y las tecnologías utilizadas para su manipulación.

En Dinamarca existe un interés en el uso de tecnologías que puedan preservar la buena calidad de las deyecciones, desde la excreción hasta el almacenamiento. Se trata principalmente de evitar la evaporación de amoníaco, ya que más de la mitad del Nitrógeno del estiércol podría perderse en los sistemas de ventilación y supondría una grave pérdida económica para el agricultor. El amoníaco contamina el aire y el medioambiente y, por tanto, pone en peligro la salud humana y animal. Otro aspecto importante es evitar la dilución de las deyecciones (y el desperdicio de agua) por el uso excesivo de agua en la limpieza de las instalaciones.

Almacenamiento de estiércol

Mientras el estiércol y la cama gruesa se almacenan en estercoleros de hormigón con desagües y paredes de apoyo o un borde de hormigón de mínimo 2 metros, para evitar fugas y filtraciones, los purines suelen almacenarse en tanques.

En Dinamarca se utilizan normalmente tanques redondos construidos a partir de elementos prefabricados de hormigón para el almacenamiento de purines. Se considera que es la solución más barata, dada la durabilidad de esos tanques, además de constituir una forma segura de almacenarlo.



FIGURA 4.7

La instalación de Ecogi-Gemidan respalda la economía circular mediante el procesamiento de todo tipo de residuos orgánicos separados en origen (doméstico, comercial e industrial). Esta tecnología robusta, eficiente y fiable asegura la eliminación de impurezas y materiales no orgánicos, como bolsas de plástico, latas de metal, botellas de plástico, etc. y genera como producto final una pulpa orgánica de gran pureza. **FOTO** Gemidan.

Los nuevos tanques de almacenamiento de purines de cerdos y visones situados a menos de 300 metros de viviendas, deben estar provistos de una cubierta flotante, de lona o similar. La instalación de una cubierta fija se puede omitir en caso de que se cree una cobertura de costra natural en la superficie y sea controlada periódicamente.

4.3.2 Residuos industriales

Los residuos procedentes de la industria agroalimentaria y del tratamiento de biomásas pueden ser materiales importantes para la producción de biogás. En Dinamarca se recuperan prácticamente todos los residuos orgánicos generados y se utilizan, entre otros usos, en plantas de biogás.

4.3.3 Residuos domésticos

La Estrategia Nacional de Recursos de Dinamarca tiene como objetivo reciclar el 50% de todos los residuos domésticos. Para lograrlo, la mayoría de los ayuntamientos daneses están obligados a implementar sistemas de recogida selectiva en origen de la fracción orgánica, lo que facilita su recuperación.

Los residuos alimentarios se consideran un recurso clave para la producción de biogás y fertilizantes en Dinamarca.



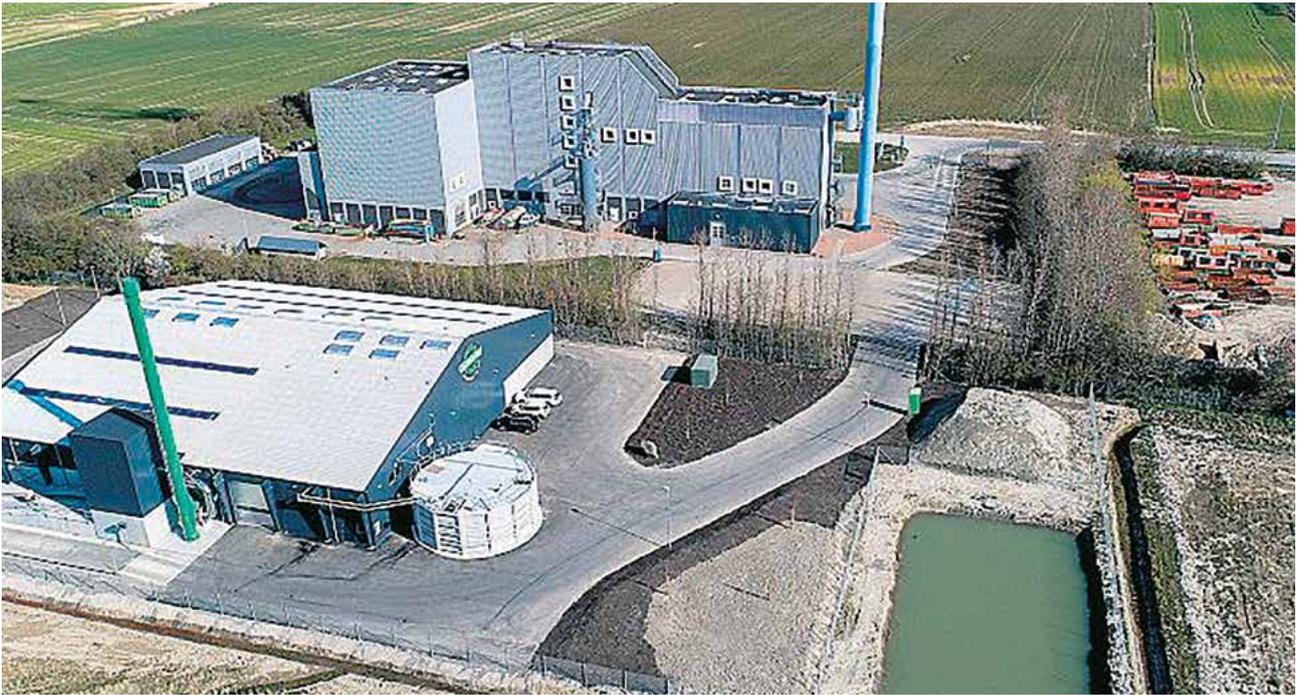


FIGURA 4.6

La nueva planta ECOGI de pretratamiento de residuos orgánicos en la ciudad danesa de Frederikshavn.

El grupo Gemidan, dedicado al tratamiento y reciclaje de residuos, es el propietario y operador de esta moderna planta, que tiene una capacidad de tratamiento de más de 50.000 toneladas de residuos orgánicos al año, incluyendo residuos alimentarios procedentes de hogares, industria y empresas de la zona. **FOTO** Gemidan.

Para poder recuperar los residuos orgánicos procedentes de los hogares ha sido necesario desarrollar tecnologías que permitan extraer esta fracción del resto de materiales convirtiéndola en una pulpa orgánica que pueda ser procesada en una planta de biogás. Una de estas tecnologías ha sido desarrollada por la empresa danesa Ecogi en la planta de Gemidan.

La flexibilidad del proceso y la pureza de la pulpa obtenida fueron establecidos como los indicadores clave de rendimiento para el desarrollo de esta tecnología. La parte de pretratamiento fue sometida a pruebas de rendimiento independientes y demostró ser extremadamente eficaz en procesar fracciones orgánicas con altos contenidos de plástico, vidrio y metal. Una entidad independiente de verificación, certificó que la pureza de la pulpa producida era del

99,96 %, es decir que estaba virtualmente libre de contaminación física no orgánica. Así, esta tecnología de vanguardia, aparte de recuperar materia orgánica de los residuos urbanos, contribuye a prevenir la contaminación por plásticos de las tierras de cultivo y además reutiliza el agua, lo que la convierte en una valiosa aportación para la consecución de una economía circular respetuosa con el medioambiente.

La pulpa producida se utiliza para generar biogás y un fertilizante rico en nutrientes para su uso en la agricultura. Para que el proceso sea más sostenible, el agua se reutiliza en cada etapa del proceso. Además, se recoge agua de lluvia y así se reduce en 25.000 m³/año el consumo de agua de red que requiere el proceso.



FIGURA 4.8

La instalación de pretratamiento en Frederikshavn (Dinamarca). **FOTO** Gemidan.



FIGURA 4.9

Biopulpa lista para el digester de biogás.



4.4 Plantas depuradoras de aguas residuales

Las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) se encuentran en plena transformación, ya que la utilización eficiente de los recursos se ha convertido en un parámetro de tanta importancia como la protección del medioambiente. El tratamiento de las aguas residuales es intensivo en energía, pero al mismo tiempo éstas contienen grandes cantidades de energía y nutrientes que ahora pueden ser utilizados, mejor que nunca antes, debido al desarrollo tecnológico ocurrido durante los últimos años.

Varias plantas de tratamiento de aguas residuales han demostrado que pueden convertirse en generadoras netas de energía. Esto significa que estas plantas producen más energía de la que consumen, utilizando el máximo carbono orgánico posible para la producción de electricidad y calor a partir del biogás, y reduciendo, al mismo tiempo, su consumo de energía mediante la optimización de las operaciones.

Las EDAR danesas producen biogás a partir de los lodos procedentes del tratamiento primario y los excedentes del tratamiento biológico.

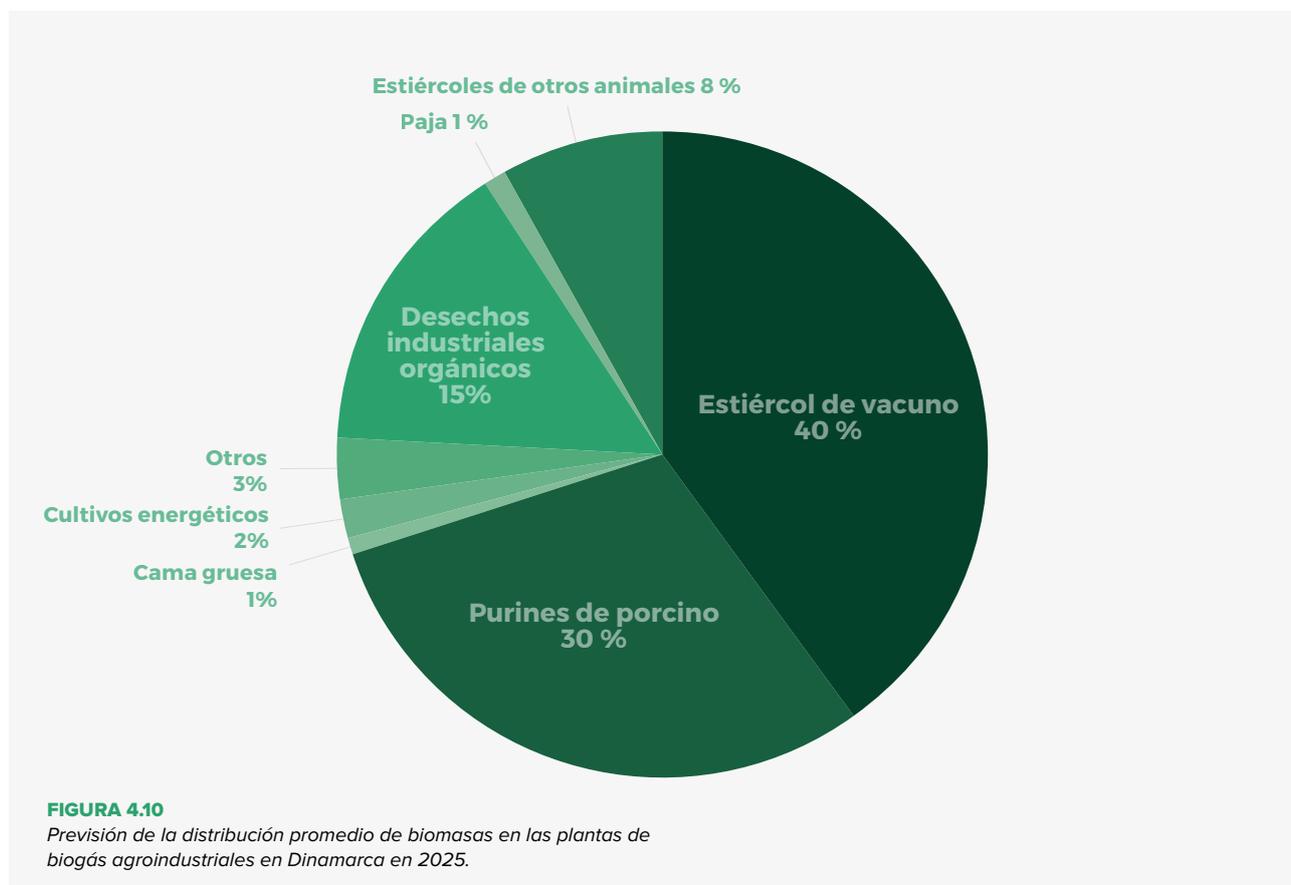
Una diferencia importante entre una planta de biogás en una EDAR y una agroindustrial, es que la biomasa descompuesta es deshidratada mecánicamente en las EDAR, aumentando considerablemente el contenido de materia seca en el digestato, reduciendo el coste de transporte. La deshidratación de los lodos desgasificados contribuye también a la carga interna de la EDAR.

4.5 Valor energético

Al planificar una nueva planta de biogás y respecto del funcionamiento en curso, es necesario conocer a fondo el potencial de biogás de las biomásas disponibles. Las biomásas más utilizadas, como las deyecciones ganaderas y los lodos de depuradora, tienen un contenido energético limitado, por lo que puede ser necesario complementarlos con biomásas con un valor energético significativamente mayor, para alcanzar el umbral de rentabilidad.

Además, se requiere que la composición de las biomásas asegure la presencia de todos los nutrientes necesarios en cantidades suficientes.

Altas concentraciones de sustancias que causen inhibición en el biorreactor, como el amoníaco, deben evitarse. Los potenciales estándar de rendimiento en biogás de varias biomásas típicas se muestran en el siguiente cuadro.



Materia orgánica	Proceso	Rendimiento, ml de iogás/g	ml CH ₄ /g	CH ₄ %
Celulosa	$(C_6H_{10}O_5)_n + n H_2O \rightarrow 3nCH_4 + 3nCO_2$	830	415	50,0
Proteína	$2C_5H_7NO_2 + 8H_2O \rightarrow 5CH_4 + 3CO_2 + 2(NH_4)(HCO_3)$	793	504	63,6
Grasa	$C_{57}H_{104}O_6 + 28H_2O \rightarrow 40CH_4 + 17CO_2$	1444	1014	70,2

4.6

Balance de masas

El contenido de nutrientes del digestato en una planta de biogás depende enteramente de la biomasa que se suministra. Siempre se debe calcular el balance de masas de los nutrientes para planificar la producción de biogás.

La co-digestión es importante porque:

- garantiza la disponibilidad de biomasa
- asegura la presencia de nutrientes
- optimiza la producción de biogás
- estabiliza el proceso de digestión anaerobia
- permite recuperar nutrientes de los residuos

Logística. El transporte de deyecciones ganaderas y digestato entre las explotaciones ganaderas y la planta de biogás es una actividad importante para las plantas centralizadas de biogás. Es importante que los camiones que se utilizan sean de gran capacidad para minimizar costes y molestias de tráfico, y fáciles de limpiar tras cada trayecto para reducir el riesgo de propagar enfermedades. Por último, se deben evitar fugas durante el transporte o durante las operaciones de carga y descarga.

4.7

Organización de una planta de biogás

Las plantas de biogás agroindustriales pueden ser pequeñas plantas individuales, vinculadas a una o pocas explotaciones ganaderas, o grandes plantas centralizadas. En Dinamarca, estas últimas procesan cada año un promedio de más de 100.000 toneladas de deyecciones ganaderas y otros residuos. A menudo se organizan como cooperativas propiedad de los ganaderos y agricultores o, en algunos casos, son propiedad de empresas energéticas. Estas plantas suelen tratar las deyecciones de entre 40 y 100 granjas, a veces incluso más, y tienen varios empleados que se encargan de su operación. La principal ventaja de las plantas de biogás centralizadas es que pueden aprovechar las economías de escala e invertir en una tecnología más eficiente. Se trata de un factor importante para los ganaderos que aportan sus deyecciones, ya que no necesitan realizar grandes inversiones en las plantas más allá de un depósito. Además, estas plantas funcionan también como centros de redistribución del fertilizante obtenido en el proceso de digestión anaerobia de las deyecciones y los residuos.

Las plantas de biogás individuales se caracterizan por recibir las deyecciones únicamente de una o pocas explotaciones y por formar parte jurídica y económicamente de una granja. Estas plantas son especialmente atractivas para las grandes explotaciones ganaderas que, debido a su tamaño, pueden aprovechar ciertas economías de escala y dónde la planta permite reducir las molestias que causa la explotación a los vecinos.

Las ventajas de las plantas de biogás individuales son:

- La decisión y puesta en marcha de la planta es más fácil y rápida
- La granja puede producir su propio calor, lo que resulta particularmente ventajoso para las explotaciones porcinas
- Se minimiza el coste de transporte

4.8

Caso Månsson: una alianza para producir biogás ecológico de forma sostenible

Nature Energy, uno de los mayores productores de biogás del mundo, unió en 2017 sus fuerzas con el importante productor danés de agricultura ecológica, Axel Månsson. Juntos están convirtiendo residuos en gas renovable en una planta de biogás que va a ser ampliada y muy pronto producirá suficiente biogás para suministrar calor a 12.000 hogares sin generar emisiones de CO₂.

En Dinamarca, el biogás se considera un elemento crucial para hacer posible la transición a una sociedad más sostenible. En los informes de las entidades danesas Consejo Danés sobre el Cambio Climático (CDCC) y Alianzas Danesas por el Clima (ADC), el biogás es destacado como un elemento clave para la transición verde del país. Mientras el CDCC es un órgano independiente de expertos, la ADC representa a la comunidad empresarial danesa. Se considera que las recomendaciones de ambas entidades tienen una significativa influencia en la política danesa sobre asuntos climáticos.

Junto a la energía eólica y solar, el biogás es el tercer elemento fundamental para alcanzar el objetivo de un futuro más verde. Con esto en mente, Nature Energy y Axel Månsson establecieron una planta de biogás completamente ecológica en 2017.

En 2019, las dos empresas decidieron ampliar la planta a medida que más agricultores mostraban interés en convertirse en proveedores y contribuir a la producción de biogás. Además de la ampliación, se ha añadido una línea de biogás convencional independiente, para aumentar en 170.000 toneladas el tratamiento de deyecciones convencionales y los residuos alimentarios de la zona, aumentando la producción de gas sostenible y creando nuevos empleos.

Actualmente 38 agricultores suministran sus deyecciones a la planta, cuya producción total será de 17 millones de Nm³ de biometano cuando la ampliación esté completada. Esta producción equivale al suministro de energía a unos 12.000 hogares utilizando gas renovable.

Para evitar la mezcla de fertilizantes ecológicos y convencionales, la línea ecológica y la línea convencional se encuentran totalmente separadas y operan independientemente la una de la otra.



FIGURA 4.11
Planta de biogás Månsson **FOTO** Nature Energy.

El biogás, un gran ejemplo de economía circular

La planta de biogás ecológico trata principalmente materiales ecológicos como estiércol de productores de leche, gallinaza de gallinas ponedoras, cultivos de trébol y residuos vegetales de la producción de Axel Månsson, entre otros.

Tras la ampliación, la planta tratará 255.000 toneladas de residuos al año que se transformarán en gas renovable que se inyectará a la red de gas y fertilizante que se suministrará a los agricultores ecológicos.

Nature Energy está analizando los nutrientes para ayudar a los agricultores a confeccionar los planes de fertilización de sus campos y asegurar que cumplen con la normativa que regula la aplicación de Nitrógeno y Fósforo.

Además, la planta de biogás está redistribuyendo nutrientes para optimizar el uso del fertilizante producido en la planta y reducir la necesidad de los agricultores de adquirir fertilizante, ya sea ecológico o mineral.

Los camiones de Nature Energy recogen el estiércol de granjas situadas en un radio de 15-20 km de la planta. Cuando el camión entrega el estiércol de una granja determinada a la planta, aprovecha la vuelta para llevarse el digestato líquido. Este concepto de biogás constituye un gran ejemplo de economía circular.

Sobre Axel Månsson

- Axel Månsson lleva más de 40 años produciendo verduras y huevos y es uno de los mayores productores de verduras de Dinamarca con una extensión de 1.100 hectáreas.
- La mitad de la producción es ecológica. Además, la compañía produce 45 millones de huevos ecológicos cada año, a partir de 140.000 gallinas.

Sobre Nature Energy

- Nature Energy es uno de los mayores productores mundiales de biogás que, entre otras cosas, convierte las deyecciones ganaderas y los residuos que genera la sociedad, en gas renovable y fertilizante ecológico, ambos inocuos para el medioambiente. En resumen, se trata de reducir los gases perjudiciales para el medioambiente procedentes de la agricultura y, al mismo tiempo, el consumo de gas natural fósil.

En 2021, Nature Energy tratará más de 4.700.000 toneladas de deyecciones y otros residuos y biomásas, convirtiéndolas en valiosos fertilizantes orgánicos, además de producir al mismo tiempo alrededor de 170 millones de Nm³ de metano.

Esta energía es suficiente para abastecer a 120.000 hogares sin producir emisiones de CO₂. Nature Energy cuenta actualmente con 10 plantas de biogás en Dinamarca y 2 en el extranjero.



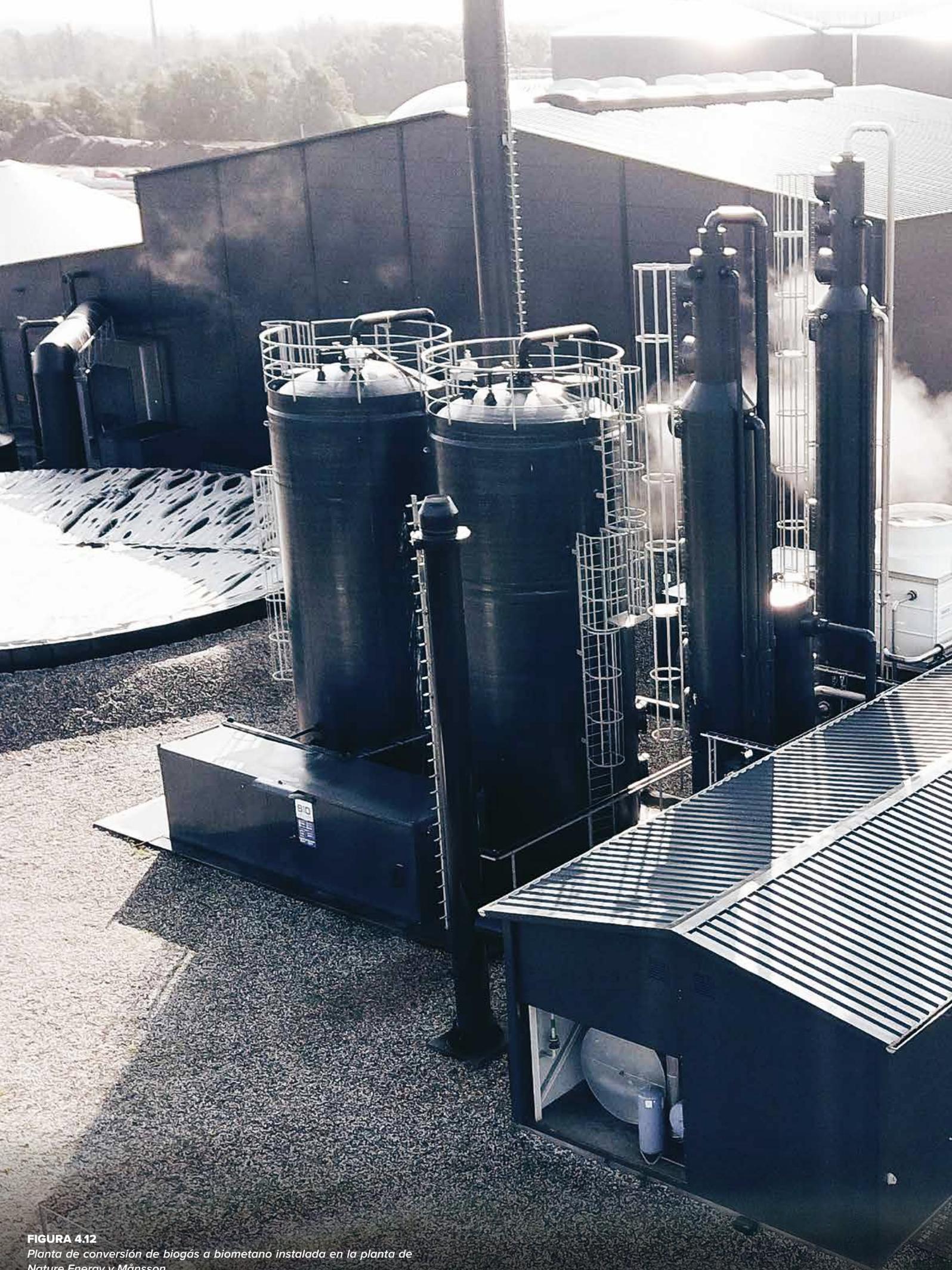


FIGURA 4.12

Planta de conversión de biogás a biometano instalada en la planta de Nature Energy y Månsson.

Una planta de biogás que recibe material orgánico procedente de la agricultura local. FOTO Nature Energy.

5 Usos del biogás

En Dinamarca se ha producido y usado biogás durante años. Tradicionalmente ha sido utilizado para cogenerar electricidad y calor (CHP), y esta sigue siendo la principal aplicación en la mayoría de plantas más antiguas.

El programa del gobierno danés para la promoción del biogás en 2012 hizo posible convertir el biogás en biometano e inyectarlo en la red nacional de gas. Desde entonces, la mayor parte del biogás producido en las nuevas plantas danesas se convierte en biometano y se inyecta a la red. La red de distribución de gas danesa está ampliamente ramificada y se puede acceder a ella desde casi cualquier lugar del país.

En 2019, el Parlamento danés acordó un ambicioso objetivo climático para 2030: la reducción del 70 % de las emisiones de CO₂ respecto a 1990. Alcanzar esta meta requerirá de inversiones ingentes en eficiencia energética y electrificación. Con la transición ecológica, la producción de energía está cada vez más desfasada con respecto al consumo. La demanda eléctrica no siempre coincide en el tiempo con la suficiente generación eléctrica renovable, con energía eólica y solar, e incluso a veces ocurre lo contrario, que la generación de electricidad es significativamente mayor que la demanda en un determinado momento.

Dinamarca necesita con urgencia capacidad para absorber excedentes de electricidad, pero también una considerable capacidad de almacenamiento para situaciones en las que la demanda de energía sea elevada y las energías solar y eólica no la puedan cubrir.

La red de gas existente es, con mucho, la mayor instalación danesa de almacenamiento de energía. Puede almacenar una cantidad de energía equivalente a un tercio del consumo anual de electricidad de Dinamarca. Los numerosos sistemas de calefacción urbana existentes en el país también pueden absorber electricidad pero,

a diferencia de la red de gas, no pueden almacenarla y devolverla a la red eléctrica.

El biogás puede estabilizar la red eléctrica cuando fluctúa la producción de energía eólica y solar.

El biogás en la red de gas contribuye a soportar la enorme presión sobre la red eléctrica provocada por la creciente proporción de fuentes renovables no programables en el mix eléctrico, y reduce así el coste de la garantía de suministro para los consumidores. Durante el invierno, las calderas de gas garantizan el suministro de calor a un precio razonable y alivian la red eléctrica.

El biogás se puede utilizar en la industria y el transporte. El biogás es necesario en áreas donde la electrificación no será una opción viable hasta dentro de muchos años. Algunas de ellas son el transporte pesado e industrias intensivas en energía.

Las plantas de biogás y la red de gas ayudan a reducir el impacto climático del sector agroalimentario y al mismo tiempo suministran energía renovable para usos que no afectan a la electricidad. La red de gas es la infraestructura de almacenamiento de energía verde más grande de Dinamarca, y puede ayudar a estabilizar la red eléctrica y emparejar la generación y la demanda.

5.1 Pérdidas de biogás

En 2016 la Asociación Danesa de la Industria del Biogás puso en marcha un programa voluntario de medición de las pérdidas de metano en colaboración con la Agencia Danesa de Energía. El programa documenta que el nivel de pérdidas se aproxima al objetivo del 1%.

Los antecedentes de este programa fueron proyectos piloto que años atrás habían demostrado la posible existencia de pérdidas en plantas de biogás. Sin embargo, ahora se dispone de métodos más precisos para detectar fugas y cuantificar la pérdida, además ahora ya es posible reducir al mínimo la pérdida de metano. Se trata de un claro beneficio para la economía de las plantas y, sobre todo, de una importante herramienta para optimizar el efecto de las plantas de biogás en la lucha contra el cambio climático.

El biogás es un producto valioso con numerosas aplicaciones.



El programa de medición voluntaria consta de tres elementos clave:

1. Programa de autocontrol,
2. Detección de fugas y
3. Cuantificación de la pérdida de metano.

Las autoridades danesas siguen trabajando en el problema y se prevé la elaboración de un plan obligatorio para la supervisión permanente de las emisiones de metano de las plantas de biogás.

5.2 Estándares de calidad de gas en Dinamarca

La calidad del biometano debe ser la misma que la del gas natural convencional y debe cumplir en todo momento con la normativa danesa sobre el gas y sus especificaciones de calidad.

Tanto la producción como la composición química de los gases renovables difieren significativamente del gas natural convencional. El suministro de gases renovables a la red de gas natural de Dinamarca es todavía algo nuevo y hasta hace poco no ha alcanzado una magnitud que afecte a la interoperabilidad de la red de gas. Sin embargo, con unos volúmenes de inyección de biometano cada vez mayores, se plantea la cuestión de cómo definir un equilibrio adecuado que garantice un funcionamiento seguro, pero sin imponer unos requisitos tan estrictos que dificulten la inyección de biometano debido a unos mayores costes de purificación.

Además, dado que el gas se comercializa más allá de las fronteras danesas, las diferencias en las especificaciones de calidad del gas pueden convertirse en un problema. En Europa estas especificaciones están regulada a nivel nacional, y en consecuencia, varían según el país. La inyección de biometano en la red puede afectar al entorno competitivo, ya que los productores de biogás de los países con especificaciones menos estrictas soportarán menores

costes de purificación. Quizás más importante es el hecho que estas diferencias puedan entorpecer el comercio físico de gas entre los distintos sistemas gasistas.

5.3 Conversión en biometano (upgrading)

El biogás producido por la digestión anaerobia se suele utilizar en las turbinas de gas para producir electricidad. Para aumentar el valor del gas y permitir su utilización en otras aplicaciones, puede resultar conveniente purificarlo. De esta manera, el dióxido de carbono y varias otras sustancias (impurezas) se eliminan y el remanente es el biometano. Como ya se ha mencionado, el biometano es similar al gas natural y puede utilizarse en aplicaciones similares, por ejemplo, para su inyección a la red de gas natural o como combustible para vehículos.

Actualmente, hay tres opciones para usar el biogás de manera eficiente:

- Conversión en electricidad y calor en una planta de cogeneración (CHP)
- Inyección a la red de gas natural
- Combustible para vehículos

En todos los casos, el biogás crudo debe someterse a un proceso de limpieza antes de su aplicación. En la planta de biogás ya se elimina una parte del ácido sulfhídrico (H_2S). En el caso del biogás utilizado en las redes de gas o para el combustible de vehículos, se debe purificar el gas en una unidad de conversión a biometano. En esta unidad, el gas se limpia de dióxido de carbono (CO_2), ácido sulfhídrico (H_2S), vapor de agua y amoníaco (NH_3).

Existen actualmente varias técnicas distintas de purificación del biogás en el mercado. Algunas de ellas aprovechan el hecho de

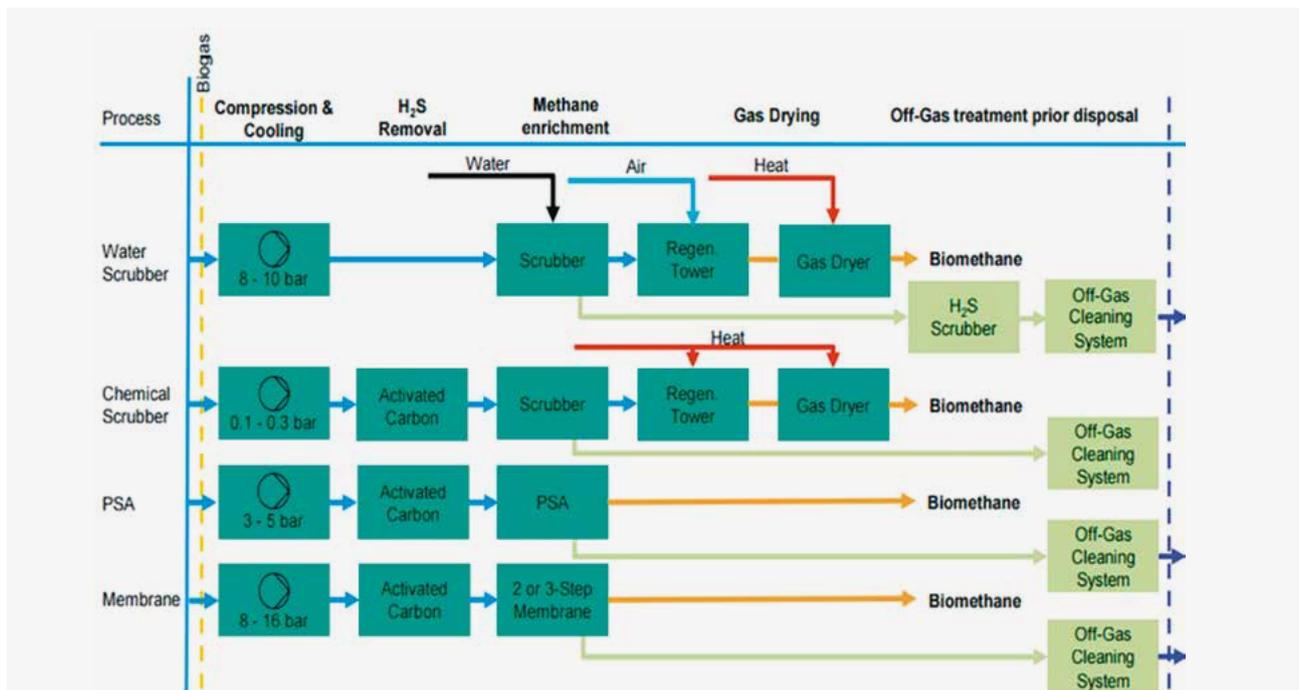


FIGURA 5.1 Diferentes tipos de tecnologías de acondicionamiento de gas (DGC = Centro de Tecnología de Gas de Dinamarca).

que el dióxido de carbono y el metano presentan una solubilidad diferente en distintos disolventes. Al elegir un disolvente que posea una alta solubilidad para el dióxido de carbono pero que deje pasar el metano sin alterarlo, se puede separar el dióxido de carbono del metano de manera eficiente. Los disolventes más comúnmente utilizados para este proceso son agua, aminas y disolventes orgánicos como Genosorb. La diferencia en el comportamiento del dióxido de carbono y el metano ante la absorción en una superficie a diferentes presiones se utiliza en la absorción por oscilación de presión (PSA), que separa eficazmente el dióxido de carbono del metano.

Otra tecnología bastante utilizada se basa en el hecho de que es más probable que el dióxido de carbono atraviese una barrera semipermeable, por ejemplo una membrana, que el metano. Al permitir que el biogás pase a través de dicha membrana, se puede eliminar el dióxido de carbono del gas, por lo que se obtiene una concentración de metano en la corriente de producto.

Por último, la diferencia del punto de ebullición entre el metano y el dióxido de carbono puede utilizarse para separar los gases por destilación criogénica.

El biogás producido a partir de diversos sustratos, como residuos agroindustriales, otros residuos orgánicos o lodos de depuradora,

contiene bajas concentraciones de sustancias no deseadas como, por ejemplo H_2S , siloxanos, amoníaco, oxígeno y carbonos orgánicos volátiles (COV). El H_2S se separa del metano en la mayoría de las técnicas de purificación. Lo eficiente que resulte ser esta eliminación y el cumplimiento de los requisitos de calidad del gas difieren según la tecnología utilizada. Los sistemas de lavado de gases (scrubbers) utilizan la absorción en agua, aminas o disolvente orgánico, y suelen eliminar la mayor parte del H_2S , mientras que en los sistemas de membranas y de absorción por oscilación de presión se necesitan filtros de pulido. Cuando el H_2S se separa del metano, termina en una corriente paralela rica en CO_2 , como la del aire procedente del extractor por aire (stripper) y debe ser eliminado en cumplimiento de la legislación medioambiental. (Fuente: Energiforsk 2016).

El concepto básico de purificación de biogás es concentrar el CH_4 en la corriente de biogás crudo (~60 %) separando el CO_2 (~40 %) y otros gases que se encuentran en cantidades mucho menores, como H_2S , H_2O , H_2 , N_2 , O_2 y COV. Este proceso puede realizarse mediante diferentes tecnologías, que aprovechan los diferentes comportamientos químicos y físicos de estos gases, así que estas tecnologías también pueden agruparse según el principal mecanismo físico-químico utilizado para la separación.

Upgraded biogas has high quality.

Tecnologías de purificación disponibles:

1. Absorción por oscilación de presión (PSA)
2. Lavado con agua
3. Lavado con aminas
4. Lavado con disolvente orgánico
5. Separación con membranas
6. Destilación criogénica

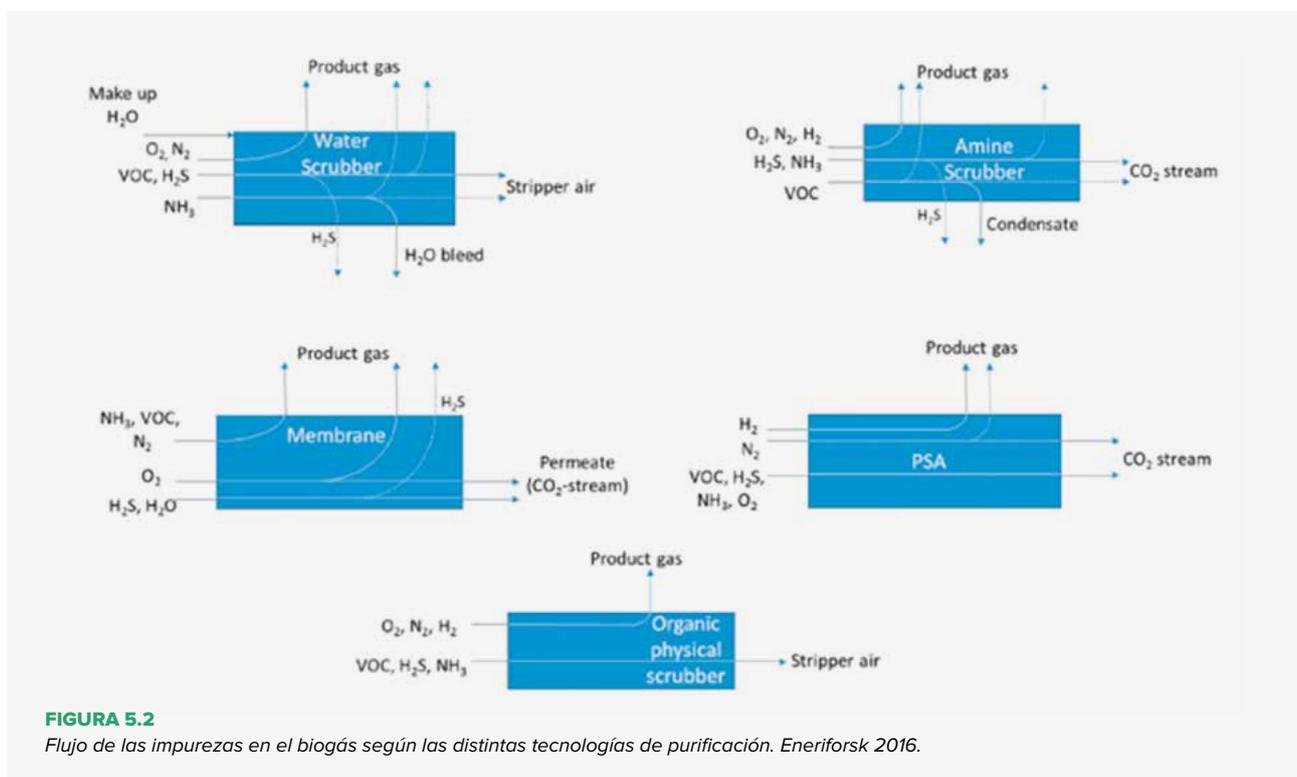


FIGURA 5.2

Flujo de las impurezas en el biogás según las distintas tecnologías de purificación. Energiforsk 2016.

Las plantas de purificación de biogás de la empresa danesa AMMO-NGAS producen 9 PJ de biometano al año, lo que significa 3/4 del total de la producción danesa prevista para 2020, y una reducción en las emisiones de CO₂ de 500.000 toneladas al año.

La tecnología de Ammongas se basa en la utilización de aminas y es notable por su alta eficiencia en la separación del CO₂ del biometano, lo que permite minimizar las pérdidas de metano hasta sólo el 0,04 % y además, el gas purificado con esta tecnología es luego apto para su licuefacción.

Las unidades de purificación de Ammongas ofrecen varias ventajas. Son bastante robustas, ya que pueden procesar biogás crudo sin ningún pretratamiento previo, por lo que no existe riesgo de contaminar el gas con oxígeno y nitrógeno añadidos.

Su consumo de energía es muy bajo, con un consumo de electricidad inferior a 0,12 kWh por m³ de biogás y una demanda neta de calor de aproximadamente 0,2 kWh por m³ de biogás, incluyendo los procesos de purificación y desulfuración. Estas plantas ofrecen un alto ratio de disponibilidad, con un promedio del 98,5 %, incluidos los mantenimientos programados.

La mayoría de las nuevas plantas de biogás en Dinamarca utilizan la tecnología de purificación con aminas para convertir biogás en biometano apto para la red de gas natural.



FIGURA 5.3

Planta de purificación de la empresa Ammongas en la planta de biogás Madsens. La planta purifica el biogás y suministra biometano a la red de gas con una disponibilidad media superior al 99 %. La planta recibe la energía necesaria de una caldera de biomasa mixta (paja y astillas de madera) y, a su vez, el calor recuperado de la planta de purificación sirve para cubrir la demanda de toda la planta de biogás. **FOTO** Ammongas.



FIGURA 5.4

Planta de desulfuración de Biogascleaner QSR en Nature Energy Maansson en Brande (Dinamarca).

FOTO Biogasclean.



FIGURA 5.5

Planta de desulfuración de Biogascleaner QSR para NGF Energy en Korskro (Dinamarca). FOTO Biogasclean.

5.3.1 Desulfurización

En Dinamarca, la mayoría de plantas de purificación utilizan la tecnología de purificación con aminas combinada con el sistema de desulfuración Biogascleaner QSR de la empresa danesa Biogasclean A/S. El sistema de desulfuración Biogascleaner QSR se instala a continuación de la unidad de purificación con aminas, con el objetivo de limpiar el flujo de CO_2 . Esta combinación de tecnologías tiene ventajas competitivas significativas como reducir los costes de operación y las pérdidas de metano. En el periodo 2017-2020 Biogasclean A/S ha sido contratada en relación a 16 proyectos de purificación de biogás en Dinamarca. Además de estos proyectos, los sistemas de Biogasclean A/S limpian el gas para más de 580 MW de motores en todo el mundo.

La unidad Biogascleaner QSR se instala después de planta de purificación con aminas, reduciendo el H_2S en el flujo de CO_2 desde concentraciones de aproximadamente 8.000 ppm hasta un máximo de 50 ppm. El CO_2 , una vez limpio, es tratado y utilizado en la industria alimentaria.

La planta de Nature Energy de Korskro produce cada año unos 22 millones de m^3 de biometano, que se inyectan a la red de gas natural.



FIGURA 5.6
 Instalación del tanque de almacenamiento de cloruro de hierro.
FOTO Kemira.

El control del azufre es esencial para el funcionamiento de las plantas de biogás y la calidad del gas.

5.4 Precipitación química del azufre

Una planta de biogás opera normalmente con un contenido de materia seca (MS) de entre un 3 y un 15 % en el sustrato húmedo. La MS en la mayoría de los casos se degrada en aproximadamente un 50 %, por lo que el digestato en el interior del tanque digestor tiene una MS del 2-7 %. La carga orgánica en forma de MS se encuentra normalmente entre 2 y 5 kg por m³ de volumen de digestor y día.

Al mismo tiempo que se genera metano, se genera también sulfuro de hidrógeno (H₂S). Dependiendo del tipo de sustrato, la producción de H₂S varía. El biogás producido a partir de deyecciones ganaderas puede tener niveles de sulfuro de hidrógeno de hasta 2.000-8.000 ppm, mientras que el biogás a partir de residuos domésticos tiene típicamente 600-800 ppm. Se usan sales de hierro para eliminar el sulfuro de hidrógeno, que es un gas tóxico, mediante sistemas de dosificación en el interior de los tanques digestores o receptores, cuando es necesario.

Dependiendo del sustrato, la necesidad de hierro para reducir los niveles de sulfuro de hidrógeno varía. Sin embargo, en función del tipo de sustrato, puede llegar a ser necesario añadir aditivos como oligoelementos.

Para cultivos energéticos, residuos agrícolas y sustratos no agrícolas, es necesario añadir oligoelementos debido a su bajo contenido. Si los oligoelementos no se introducen en el digestor, el proceso microbiológico se verá limitado, causando problemas para aumentar la carga orgánica y mantener un proceso estable. Estas limitaciones también causarán problemas debido a los altos niveles de ácidos grasos volátiles (AGV) en el digestor. Todo ello conllevará graves problemas para mantener un proceso microbiológico bien equilibrado en el digestor y una disminución en la producción de biogás debido al bajo nivel de degradación de los AGV y la presencia de ácidos grasos de cadena larga, que no se degradarán en la medida deseable produciendo metano y dióxido de carbono, sino que se convertirán en gas metano en el digestato tratado y será emitido a la atmósfera, fenómeno que se conoce como «pérdida de metano».

La consecuencia será que el rendimiento y la rentabilidad de la planta se verán reducidos, pero también se ocasionará un problema medioambiental ya que el metano es un gas de efecto invernadero muy potente y, por lo tanto, no debería emitirse a la atmósfera. Los niveles de AGV no deben exceder los 1.500 mg/l en el digestor.

Dependiendo del contenido energético de los sustratos, el rendimiento del biogás puede variar considerablemente. Por lo general, los purines de ganado porcino tienen un rendimiento de biogás de 200 m³ de metano por tonelada de sólidos volátiles (VS), mientras que los residuos alimentarios y del sector horeca, tienen un rendimiento de 660 m³ de metano por tonelada.



FIGURA 5.7
 Instalación de tanques de almacenamiento en container. **FOTO** Kemira.

5.4.1 El hierro como macronutriente

El hierro es un componente clave en la digestión anaeróbica ya que interviene en todos los procesos bacterianos.

Para la generación de biogás se utilizan diferentes productos que reducen la concentración de sulfuro de hidrógeno (H_2S). Esta reducción también protege de la corrosión a todos los equipos que componen las plantas de biogás y purificación. Si se pretende utilizar el biometano como combustible para vehículos, en las redes de gas o como fuente de energía, el contenido de H_2S debe ser, normalmente, inferior a 100 ppm en fase gaseosa.

Los productos que contienen hierro se utilizan principalmente para el control del H_2S en plantas de biogás. El hierro (Fe) reacciona con el ion sulfuro S_2 y forma sulfuro de hierro, que es un componente sólido que sale del sistema con el digestato sólido. Los productos que contienen hierro se añaden directamente al digestor o en la fase de pretratamiento. Los productos de hierro están disponibles comercialmente en diferentes formatos: líquidos y sólidos.

5.4.2 Los oligoelementos son micronutrientes

Los microorganismos que se encuentran en los tanques digestores utilizan enzimas y coenzimas para degradar celulosa, almidón, proteínas, grasas, azúcares y ácidos grasos, convirtiendo estos compuestos intermedios en metano y dióxido de carbono y los demás componentes del biogás.

La necesidad de disponer de oligoelementos en un proceso de digestión anaerobia está directamente relacionada con su contenido. Los sustratos procedentes de seres vivos, como los lodos de aguas residuales o las deyecciones ganaderas, no suelen necesitar que se les añadan oligoelementos, dado que estos ya se encuentran en niveles suficientes. Pero si la carga orgánica aumenta más de 4 kg VS ($m^3 \cdot d$), se necesitará añadir oligoelementos para mantener la producción de metano y no afectar negativamente a la producción de biogás.

Los sustratos procedentes de cultivos energéticos, residuos orgánicos agrícolas, industriales y domésticos, así como de aguas residuales industriales suelen tener muy pocos oligoelementos, por lo que es necesario añadirlos durante el proceso de digestión anaerobia. De lo contrario, el mecanismo de los microorganismos para convertir carbohidratos, proteínas y grasas en biogás se vería afectado.

5.4.3 La química que sustenta el proceso anaerobio

Como se ha mencionado anteriormente, la química es esencial para que una planta de biogás opere correctamente. La empresa danesa Kemira tiene una gama de productos específicos para plantas de biogás: Biogas Digestion Products (BDP), como productos de hierro puro, sales de hierro especiales que contienen oligoelementos de diferentes tipos y concentraciones. La elección de un producto BDP se basa en el sustrato, el proceso de digestión anaerobia y la carga del proceso.

El propósito de añadir productos de hierro es, por supuesto, reducir la cantidad de sulfuro de hidrógeno en el biogás producido

para evitar la corrosión de dispositivos y equipos, así como poder suministrar un biogás apto para su utilización en motores de gas, inyección en la red de gas y/o como combustible para vehículos. Los oligoelementos que contienen productos BDP se utilizan para aumentar la producción y el rendimiento del biogás. Si la carga orgánica aumenta, los niveles de AGV en el tanque digestor se reducirán y se generarán problemas de espuma. Si se reducen los AGV y los ácidos grasos de cadenas largas en los tanques digestores, los ácidos se transfieren en mayor medida al metano y al dióxido de carbono.

También se reducen las pérdidas de metano y se mitiga el impacto negativo sobre el medioambiente.

En general, añadir oligoelementos incrementa la capacidad de la planta sin necesidad de inversiones, y mejora su resultado económico generando un mayor rendimiento y producción de biogás. En procesos de digestión anaerobia, el hierro es un macronutriente y componente clave que interviene en todos los procesos bacterianos, precipitando el sulfuro e inhibiendo el efecto tóxico del sulfuro de hidrógeno H_2S .

La composición de la materia orgánica tiene una influencia significativa en la generación de biogás y la cantidad de metano producido.



FIGURA 5.8
Gas engine and generator for biogas plants provided by Jenbacher.
FOTO Jenbacher.

5.5 Cogeneración de electricidad y calor (CHP)

Durante décadas en las plantas de biogás danesas se han instalado plantas de cogeneración de calor y electricidad (CHP), es decir motores de gas para generar electricidad y calor.

Al usar biogás en un motor de gas, se puede lograr una generación eléctrica del 35-40% del valor energético del biogás, mientras el resto se convierte en calor, en forma de gases de combustión y agua caliente. Esto significa que aproximadamente el 60% del biogás se convierte en calor, y para que la planta sea rentable es necesario vender este calor a un precio razonable. Las plantas de cogeneración en Dinamarca tienen dificultades para vender calor a un precio adecuado durante la época más calurosa del año.

5.6 Transporte y logística

El transporte y la logística asociados a una planta de biogás constituyen una parte importante de los costes de explotación, y por tanto es de suma importancia para la economía de la planta gestionarlos adecuadamente.

Las plantas de biogás en EDAR e industrias difieren de las plantas agroindustriales, en que normalmente en las primeras la mayor parte de la biomasa se puede transportar mediante bombeo. En el caso de las segundas, casi toda la biomasa llega a la planta en camiones. Estos camiones, especialmente diseñados, transportan la biomasa líquida hasta la planta y recogen el digestato (fertilizante) tras el proceso de digestión anaerobia. La planificación logística de recogida y entrega de deyecciones y residuos a la planta, así como del digestato desde la planta hacia las plantaciones agrícolas es una tarea extremadamente importante.

**La logística
es crucial para
la economía de una
planta de biogás.**



FIGURA 5.9
Camión especialmente diseñado para transportar purines.
FOTO Food & Bio Cluster Denmark.

Power-2-X

- **Hidrógeno.** Se puede utilizar directamente para la producción de calor y electricidad (p. ej. en plantas de cogeneración), en el sector del transporte (p. ej., pilas de combustible) y como materia prima química (p. ej., en una refinería). También es posible su inyección, en cantidades limitadas, a la red de gas natural. El Hidrógeno se produce por electrólisis del agua, que es una primera fase común para producir los demás productos P2X.

- **Metano sintético.** Tiene las mismas utilidades que el gas natural convencional, y por tanto, inyectarse directamente a la red de gas. Su producción requiere una fuente de suministro de CO₂, y habitualmente el proceso de producción es llamado Power-to-Gas (P2G).

- **Combustibles líquidos sintéticos.** Por ejemplo, metanol, gasolina, queroseno, diésel y gasóleo. Se pueden utilizar para los mismos fines que los productos equivalentes de origen fósil. Su producción requiere una fuente de CO₂. El proceso a veces se denomina Power-to-Liquids (PtL).

- **Amoniaco.** Es un ingrediente básico en la producción de fertilizantes, pero el amoníaco también puede utilizarse como portador energético para la producción de hidrógeno o directamente como combustible. Su producción no requiere una fuente de CO₂, sino solo Nitrógeno que se puede extraer directamente del aire. Desde la introducción de los objetivos de reducción de CO₂ para el transporte marítimo internacional en 2018, los principales actores en el mercado han impulsado el desarrollo del amoníaco generado por electrólisis como un combustible verde para el transporte marítimo.

5.7 El almacenamiento y conversión (power2x)

La transición de Dinamarca hacia una economía 100% renovable durante las próximas décadas es una tarea de gran magnitud y complejidad. Los análisis a largo plazo realizados de los sistemas energéticos han identificado durante muchos años la electrólisis como un potencial elemento central en la transición renovable de todo el sistema energético, pero se estima que probablemente no tendrá una influencia significativa hasta después de 2030.

El término Power2X (P2X) se utiliza para definir la producción de Hidrógeno a partir de electricidad renovable mediante electrólisis y su posterior conversión en, por ejemplo, combustibles gaseosos y líquidos. Los procesos P2X se espera que se conviertan en un elemento central para hacer viable la transición hacia una economía renovable y limpia.

Muchos análisis indican que una electrificación masiva de los diferentes sistemas energéticos mediante la llamada conexión sectorial será fundamental para el desarrollo del sistema energético danés. Las bombas de calor pueden suministrar calefacción eficiente a los hogares y la electricidad suele ser la fuente de energía más eficiente y limpia para el transporte. Las energías eólica y solar son hoy en día una forma económica de producir energía renovable, debido a la importante caída de precios en los últimos años. Por ello, estas dos fuentes de energía renovable están ganando impulso a escala mundial y su cuota de generación eléctrica es ya considerable.



FIGURA 5.10
Conversión de CO₂ y H⁺ a metano en el laboratorio de la Universidad de Aarhus.
FOTO Food & Bio Cluster Denmark.

Los análisis indican que aproximadamente entre el 40 y el 60% de la demanda de energía en 2050 no se podrá cubrir directamente con electricidad, por lo que deberá cubrirse con otros combustibles. Se espera una gran demanda de combustibles líquidos y gaseosos para una considerable parte del transporte marítimo, aéreo y por carretera, la industria, la generación eléctrica de apoyo al sistema, etc. Esto hace que las soluciones P2X sean interesantes, también aquellas basadas en el biogás.



FIGURA 5.11
*Planta piloto de Haldor Topsøe en la Universidad de Aarhus
para la conversión de CO₂ y H en metano.
FOTO Food & Bio Cluster Denmark.*

6 El uso del digestato

6.1

Valorización y reutilización como fertilizante

La mayor parte del alimento para ganado es de origen vegetal, y las plantas contienen nutrientes. Algunos de estos nutrientes son transformados por los animales en leche, carne o huevos, mientras el resto es expulsado en forma de deyecciones. Cuando estas deyecciones ganaderas se utilizan para fertilizar los cultivos, el círculo se completa y los cultivos reciben prácticamente todos los nutrientes que necesitan. Sin embargo, para compensar en parte la desviación de nutrientes hacia los productos animales, a menudo es necesario añadir una cierta cantidad de fertilizante inorgánico procedente de residuos domésticos o industriales.

La recuperación de nutrientes, que sustituyen a fertilizantes minerales producidos industrialmente, adquiere cada vez más importancia debido al agotamiento de las reservas naturales de Fósforo en el mundo. El digestato producido en las plantas de biogás es un excelente fertilizante, rico en nutrientes y materia orgánica, y además sus nutrientes son más accesibles para las plantas que los del estiércol crudo. En Dinamarca y Europa tanto las deyecciones crudas como el digestato se utilizan directamente como fertilizante para los cultivos sin necesidad de procesarlos.

La sustitución de fertilizantes minerales por el digestato requiere que éste se pueda manipular y usar de manera eficiente y segura.

La normativa danesa

En Dinamarca, el Ministerio de Medio Ambiente y Alimentación es responsable de la regulación del uso de las deyecciones ganaderas como fertilizante y de implementar la legislación relevante de la UE.

La normativa más importante es:

- Orden ministerial que regula la gestión de las deyecciones ganaderas
- Orden ministerial que regula el uso de fertilizantes en la agricultura y cubierta vegetal.
- Orden ministerial que regula el uso de residuos orgánicos como fertilizante en la agricultura.
- El uso de residuos de animales, por ejemplo, de mataderos, está regulado por la Administración Danesa de Veterinaria y Alimentación.
- Los elementos clave de esta normativa son los siguientes:

- Las deyecciones ganaderas se pueden usar sin tratar en tierras agrícolas. Lo mismo es aplicable al contenido del tracto digestivo de los animales, la leche y los productos lácteos.
- Los purines deben almacenarse en tanques herméticos y cubiertos.
- Los nutrientes en el estiércol y los purines deben usarse como fertilizantes en tierras de cultivo. La única alternativa es su incineración en plantas incineradoras autorizadas.
- Se limitan las cantidades de N y P que se pueden aplicar por hectárea en las tierras de cultivo.
- Si una granja produce más deyecciones de las que puede aplicar en sus propias tierras, debe disponer de un acuerdo escrito en el que se indique que el exceso es enviado a otra/s granja/s, a una planta de biogás o a una incineradora.
- La aplicación de fertilizantes líquidos o digestato debe llevarse a cabo mediante ciertas tecnologías para evitar malos olores y emisiones.
- La aplicación de fertilizante líquido o digestato debe realizarse justo antes y durante el periodo de crecimiento de las plantas para utilizar los nutrientes de manera eficiente y evitar la lixiviación.
- Algunos tipos de residuos orgánicos, como los de origen urbano, se pueden aplicar a las tierras de cultivo sin necesidad de solicitar autorización, mientras otros requieren de autorización. Sin embargo, todos los residuos orgánicos deben estar por debajo de los umbrales de tolerancia fijados para metales pesados, sustancias nocivas para el medioambiente e impurezas físicas como el plástico. El control lo realiza una entidad independiente.
- Los residuos orgánicos deben someterse a tratamientos de higienización específicos, y debidamente documentados, antes de su aplicación en la tierra: estabilización, compostaje controlado o esterilización controlada, según el tipo de residuo.
- Los subproductos animales deben cumplir con la normativa de la UE, que prohíbe el uso de subproductos animales que conlleven riesgo para la salud. Se debe quemar el material de alto riesgo, como restos de animales muertos debido a ciertas enfermedades. Se pueden usar materiales de menor riesgo para la producción de biogás, a veces tras ser esterilizados bajo presión. Para poder manejar dicho material, la planta de biogás debe disponer de una unidad de esterilización aprobada.

	Materia seca %	Nitrógeno total kg/t	Nitrógeno amoniacal kg/t	Fósforo kg/t	Potasio kg/t
Purines de vacas	8	4,9	3,0	0,8	4,4
Purines de cerdos de cebo	6	5,0	3,5	1,2	2,6
Purines de cerdas	4	3,8	2,6	0,9	1,9
Estiércol (sólido)	20	6,0	1,5	1,6	2,5
Orina	3	5,0	4,5	0,2	8,0
Cama gruesa	30	10,0	2,0	1,5	10,0

FIGURA 6.1

Concentraciones típicas de los nutrientes más importantes en fertilizantes orgánicos de origen animal.

6.2 Contenido en nutrientes

Los fertilizantes orgánicos de origen ganadero, o deyecciones ganaderas, están compuestos entre un 70 y un 98 % por agua y únicamente entre un 2 y un 30 % por nutrientes y compuestos orgánicos. El estiércol y la cama gruesa tienen un alto contenido de paja y una concentración relativamente alta de nutrientes y sólidos, mientras el purín tiene un alto contenido de agua y poca paja, por lo que la concentración de sólidos y nutrientes es relativamente baja.

Los nutrientes con mayor presencia en las deyecciones ganaderas son los llamados macronutrientes, por ejemplo, Nitrógeno, Fósforo, Potasio y Magnesio. Se pueden encontrar otros nutrientes en concentraciones más bajas, por ejemplo, Sodio, Cobre, Zinc, Boro y Molibdeno. La mayoría de estos nutrientes pueden ser absorbidos directamente por las plantas.

El Nitrógeno presente en las deyecciones se encuentra en dos formas:

- Amoniaco, disponible de forma directa para las plantas.
- Nitrógeno orgánico, que debe transformarse en el suelo antes de que pueda ser absorbido por las plantas. Sin embargo, el nitrato, que es un componente importante en un fertilizante inorgánico, no se encuentra presente en grandes concentraciones en las deyecciones ganaderas.

Las concentraciones que se muestran en la tabla son las que se encuentran habitualmente en Dinamarca. Sin embargo, hay grandes variaciones entre las explotaciones debido a las diferencias en alimentación, uso de agua y paja, diseño de las instalaciones, etc. todos ellos factores que influyen en la composición del purín y el estiércol

6.3 Valor del nutriente

El valor de los fertilizantes orgánicos como purín, estiércol o biomasa desgasificada (digestato) para una granja es considerable, ya que puede ser parcial o completamente a los fertilizantes inorgánicos de origen mineral. Por lo tanto, se puede reducir bastante el gasto en fertilizantes inorgánicos si se utilizan los orgánicos. No existe una lista de precios para los fertilizantes orgánicos de origen animal, pero su valor puede estimarse a partir del valor del fertilizante inorgánico al que sustituye.

La tabla muestra el valor total de fertilizante dependiendo de los animales y cultivos. El resultado se basa en el valor de la cantidad equivalente de fósforo, potasio y nitrógeno en el fertilizante

inorgánico. Para obtener el máximo valor de los fertilizantes orgánicos es importante, entre otras cosas, aplicarlos a los cultivos correctos en el momento adecuado y utilizando el equipo y método de aplicación óptimos.

En la tabla se indican las producciones estándar anuales de deyecciones por tipo de animal, y el valor se estima según los estándares daneses de contenido promedio de nutrientes en las deyecciones, aunque estos parámetros dependen del tipo de ganado, su alimentación, el tipo de instalación, etc.

La tasa de aprovechamiento (en porcentaje) mide la cantidad de Nitrógeno (N) que cada cultivo utiliza en el año de aplicación (efecto del primer año). El Nitrógeno presente en los fertilizantes inorgánicos se define como el que tiene una eficiencia de uso del 100 %. El efecto del primer año es principalmente el resultado del contenido de Nitrógeno amoniacal del fertilizante orgánico.

El efecto residual es el efecto del nitrógeno en los años posteriores a la aplicación del fertilizante orgánico, y se debe principalmente al contenido en Nitrógeno orgánico. Se estima que el efecto residual durante un período de 10 años es del 7-10 % para el purín porcino, del 10-15 % del purín vacuno y del 16-24 % de un fertilizante orgánico sólido.

El aprovechamiento del Nitrógeno varía en gran medida. La cantidad de Nitrógeno que absorbe un cultivo varía debido a las diferencias en la cantidad de purín y estiércol que queda ligada en su forma orgánica a residuos vegetales indigeribles y, por lo tanto, no está disponible para las plantas. La mayor biodisponibilidad de Nitrógeno está en el purín y la orina, por eso su aprovechamiento es mayor en el fertilizante orgánico líquido que en el sólido.

El grado de aprovechamiento varía porque parte del Nitrógeno se pierde en el medioambiente antes de que las plantas lo absorban. El aprovechamiento del nitrógeno aumenta si se logran minimizar las pérdidas. Esto se consigue, por ejemplo, eligiendo el equipo de aplicación más adecuado y aplicando el fertilizante solo en cantidades óptimas y en el momento más adecuado.

Se recomienda aplicar la mayor parte del fertilizante orgánico en los meses de primavera. Por lo tanto, se necesitará capacidad de almacenamiento para purines y estiércol durante los meses de otoño e invierno. Lo óptimo es contar con capacidad de almacenamiento para la producción de 8-9 meses.

FERTILIZER PRODUCED				
Tipo de fertilizante	Tonelada por animal	Producción total (t)	Valor por tonelada (€)	Valor total (€)
Purín de cerdas	9,60	8.160	4	36.680
Purín de cerdos de cebo	0,54	5.400	6	32.227
Purín de vacuno	38,00	11.460	6	71.408
Purín de vacuno	38,00	19.100	6	119.013

FIGURA 6.2

Valor estimado de los fertilizantes en Dinamarca en noviembre de 2016 para los tipos más habituales.

Tipo de fertilizante	Cultivo y método de aplicación	Eficacia en el uso % (primer año)
Purín de cerdo	Manguera de arrastre en cultivos de invierno (cereal, colza)	65
Purín de vacuno	Manguera de arrastre en cultivos de invierno (cereal, colza)	45
Purín de vacuno	Inyectado en hierba	50
Purín de vacuno	Manguera de arrastre en hierba (acidificado)	50
Fert. líquido org.	Manguera de arrastre en cultivos de invierno (cereal, colza)	85
Fert. sólido org.	Abanico en cultivos de invierno (cereal, colza)	25
Cama gruesa	Abanico en cultivos de invierno (cereal, colza)	85

FIGURA 6.3

Aprovechamiento de nitrógeno de fertilizantes orgánicos. En cultivos de primavera y verano. SEGES P/S.

Tipo de fertilizante	Cultivo y método de aplicación	Eficacia en el uso % (primer año)
Purín de cerdo	Inyectado en cereal de primavera o maíz	75
Purín de vacuno	Inyectado en cereal de primavera o maíz	70
Purín de cerdo	Inyectado en colza de invierno	65
Fert. líquido org.	Inyectado en cereal de primavera o maíz	90
Fert. sólido org.	Arado antes de sembrar cereales de primavera	40
Cama gruesa	Arado antes de sembrar cereales de primavera	30
Cama gruesa	Arado antes de sembrar maíz o remolacha	35

FIGURA 6.4

Aprovechamiento de nitrógeno aplicado antes de la siembra.

**El digestato de
las plantas de
biogás es un
valioso fertilizante.**





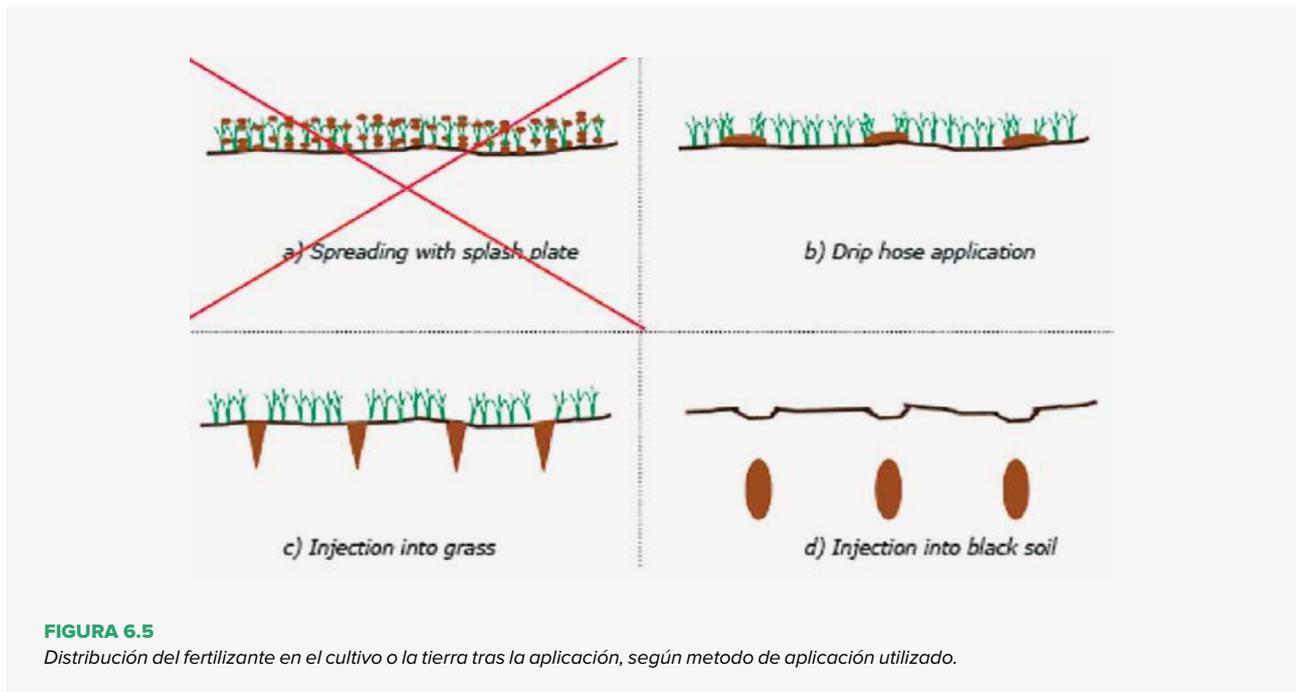


FIGURA 6.5

Distribución del fertilizante en el cultivo o la tierra tras la aplicación, según método de aplicación utilizado.

6.4 Métodos de aplicación y pérdidas de amoníaco

Mezclar bien el purín antes de su aplicación es importante, puesto que en el interior del tanque de almacenamiento los nutrientes se segregan durante el tiempo de permanencia, en especial la materia seca, el Fósforo, el Nitrógeno orgánico y algunos micronutrientes se separarán y acumularán en altas concentraciones en la capa inferior y en la capa flotante. El Nitrógeno amoniacal y el Potasio no se segregan, ya que son solubles en agua.

Mezclar bien el purín antes de su aplicación ofrece dos ventajas:

- El purín se homogeniza y es más fácil de bombear, lo que facilita que el tanque se puede vaciar por completo.
- La concentración de nutrientes (especialmente el Fósforo) es constante desde la primera hasta la última carga de purín.

El fertilizante orgánico sólido, como la cama gruesa, solo se puede aplicar usando una abonadora de estiércol. Las pérdidas de amoníaco de este tipo de fertilizantes orgánicos se pueden reducir, procediendo a arar los campos lo más rápido posible después de la aplicación.

El fertilizante orgánico líquido, por otro lado, se puede aplicar usando diferentes técnicas. El aprovechamiento de nutrientes puede optimizarse eligiendo el método de aplicación más apropiado para cada cultivo específico y el momento de su aplicación. La figura muestra los métodos apropiados para la aplicación de fertilizantes orgánicos líquidos.

La línea negra ilustra la superficie del suelo y las manchas marrones representan la distribución del fertilizante. Se debe tener en cuenta que el nivel de contacto del fertilizante con la atmósfera es muy diferente en los cuatro métodos. El contacto es muy significativo usando el tradicional método del plato o abanico, que supone el mayor grado de evaporación de amoníaco y, por consiguiente más emisiones de este dañino gas de efecto invernadero y mayor pérdida de nitrógeno.

El digestato debe manipularse adecuadamente para obtener el efecto fertilizante óptimo.

Este método está prohibido en Dinamarca.

Cuanto más larga sea la exposición al aire, mayor será la pérdida de nitrógeno por la evaporación de amoníaco. Por lo tanto, es mejor usar inyector, incorporadores y mangueras de goteo.

Desde 2001 y 2002 en Dinamarca está prohibido esparcir estiércol líquido mediante el uso de cañones de riego y dispersión amplia (abanico), respectivamente, debido a consideraciones ambientales y de salud.

El hecho de que el digestato de una planta de biogás tenga un pH más alto y también contenga una mayor proporción de Nitrógeno en forma mineralizada aumenta el riesgo de evaporación del amoníaco. Por este motivo para aplicar correctamente el digestato es muy importante utilizar tecnologías que eviten la evaporación del amoníaco, es decir, debe almacenarse en tanques cubiertos y aplicarse con sistemas de inyección o mangueras de arrastre.



FIGURA 6.6

En Dinamarca la dispersión amplia con plato o abanico y los cañones de riego están prohibidos debido a las muy altas pérdidas de nitrógeno. Torkild Birkmose, SEGES. FOTO SEGES.



FIGURA 6.7

Aplicación en tierra mediante mangueras de arrastre. Reducción de las emisiones de N alrededor del 50 % en comparación con la difusión amplia. FOTO GØMA.



FIGURA 6.8

Inyección en hierba. Reducción de la emisión de N en aproximadamente un 25 % en comparación con el sistema de mangueras de arrastre. FOTO Samson Agro.



FIGURA 6.9

Inyección en tierra. Reducción del 85 % de las emisiones de N en comparación con el uso de manguera de arrastre. FOTO Samson Agro.

**La planta de biogás
en la Universidad de
Aarhus: la mayor
planta dedicada
exclusivamente a
I+D del mundo.**



7 Mitigar los riesgos de provocar problemas ambientales

Entre los posibles desafíos ambientales cabe mencionar:

- Evaporación de amoníaco
- Lixiviación de nitratos
- Desnitrificación
- Pérdidas de fósforo
- Escorrentía
- Malos olores

Todos estos riesgos pueden reducirse o eliminarse utilizando las técnicas correctas en los momentos adecuados.

El digestato de las plantas de biogás genera menos malos olores y supone un mayor valor como fertilizante que el estiércol crudo. A pesar del mayor riesgo de evaporación de amoníaco, el digestato huele mucho menos que el purín no tratado. Esto se debe a que tiene una viscosidad más baja, presenta mayor homogeneidad y el tamaño de las partículas es más pequeño y, por tanto, se filtra rápidamente en el suelo, entre otras cosas. Como la principal preocupación de los vecinos de las explotaciones ganaderas son los malos olores, esta ventaja es un factor importante en la decisión de los ganaderos locales de invertir en una planta de biogás.

Una explotación agrícola que fertiliza con digestato puede, debido a la mayor cantidad de $\text{NH}_4\text{-N}$ en el fertilizante obtener el mismo efecto fertilizante con una dosis 10-20 % menor.

7.1.1 Evitar la propagación de enfermedades

Un mililitro de purín puede contener más de mil millones de microorganismos. Algunos de estos microorganismos son infecciosos y pueden causar enfermedades en animales y humanos. Por este

motivo, es importante manipular los purines con precaución para minimizar la propagación de las enfermedades.

Sin embargo, durante el transporte y la aplicación de purín, biomasa desgasificada y estiércol, existe el riesgo de que las enfermedades se propaguen de una explotación a otra porque los equipos de transporte y aplicación pueden estar contaminados con patógenos causados por fugas, derrames o una limpieza inadecuada. Por lo tanto, es importante utilizar equipo que eviten desbordes y derramamientos durante el llenado, que el mantenimiento del equipo sea el adecuado, y que además sea estanco para que no se produzcan fugas ni derrames durante el transporte. La limpieza frecuente de los equipos también minimiza el riesgo de propagación de enfermedades.

En general, el riesgo de transmisión de enfermedades a cultivos que no se cosechan hasta la madurez, como los cereales, es insignificante. Esto se debe al largo intervalo entre la aplicación del purín y la cosecha, y a que los gérmenes infecciosos durante ese período se descomponen de manera muy efectiva gracias a la radiación ultravioleta.

El mayor riesgo de transmisión de enfermedades ocurre en la aplicación de estiércol en la hierba, por lo que se deben seguir unas pautas especiales.

La regulación danesa se basa en la experiencia de que la digestión anaerobia elimina eficientemente los patógenos relevantes en Dinamarca.

The Danish regulation builds on the experience that anaerobic digestion efficiently eliminates relevant pathogens in Denmark.

Pérdida de nitrógeno al almacenar los purines, % de $\text{NH}_4\text{-N}$

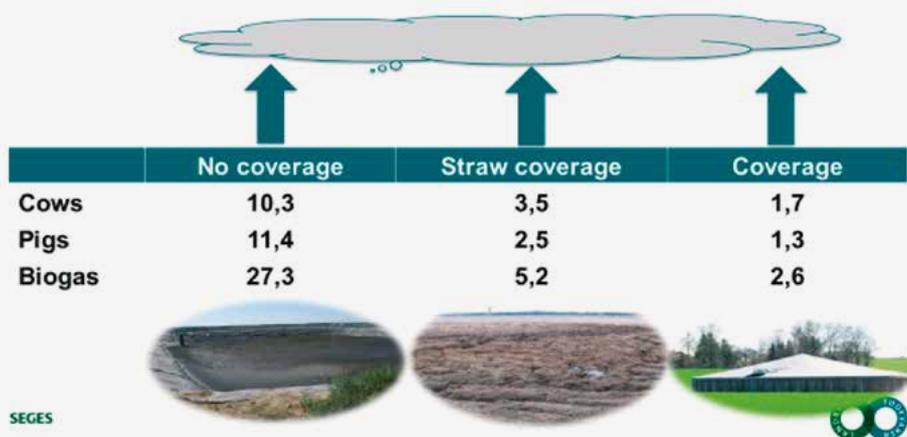


FIGURA 7.1

Niveles de pérdidas en diferentes instalaciones de almacenamiento. Lars Villadsgaard Toft, SEGES.

8 Investigación y desarrollo

8.1 Universidades

Denmark has several universities and research institutes, which perform research in biogas production. The main goal of the research is to find methods to increase the profitability of manure-based biogas production in a sustainable way, for instance through advanced pre-treatment technologies, use of additives and enzymes, optimisation of the feed mix, and biogas potential of new substrates and other wastes to supplement livestock manure, for instance straw.

8.1.1 Universidad de Aarhus

La Universidad de Aarhus (AU) es la universidad más grande de Dinamarca, con aproximadamente 42.500 estudiantes y 11.500 empleados. La Universidad puso en marcha su futura estrategia de investigación en 2017 con el establecimiento de centros de investigación estratégicos como Watec (Centro de investigación del agua) y CBIO (Centro de bioeconomía circular). El Departamento de ingeniería tiene una sólida experiencia trabajando con biorecursos y tecnologías con el objetivo de lograr una sociedad más sostenible y una bioeconomía circular.

La AU ha invertido continuamente en excelentes instalaciones experimentales en los sectores de agua, biogás y biorrefinería, desde equipos analíticos de laboratorio hasta reactores piloto y comerciales. Por ejemplo, opera una planta completa de biogás a gran escala que incluye una línea de transmisión de gas y un motor de gas. Asimismo, cuenta con una planta de pruebas de biogás con pequeños y grandes digestores de biogás. El de la planta a gran escala es de 1.200 m³ y de los 4 tanques para ensayos 2 son de 30 m³ y 2 de 10 m³. Hay varios experimentos en curso sobre pretratamientos que aumenten la producción de biogás y sobre el desarrollo de productos de alto valor a partir del digestato.

AU-Foulum encabeza el grupo de investigación de biogás en la AU, y mantiene una estrecha colaboración con la industria en proyectos que cubren la mayoría de áreas: pretratamiento, control de procesos, diseño de reactores, digestores de alto rendimiento, impacto ambiental, purificación del gas, separación y cadenas de valor para el digestato, etc. Además de muchos años de investigación, el equipo también ha colaborado con el sector en el diseño de instalaciones de biogás. La infraestructura de biogás existente se actualiza constantemente con la incorporación de tecnologías punteras, como metanización y proyectos Power2x.

8.1.2 Universidad de Aalborg

La Universidad de Aalborg (AAU) cuenta con años de experiencia en el campo de los conceptos de biorrefinería y producción de biogás, digestión anaerobia y proyectos de implementación de sistemas de bioenergía. Se espera que el biogás desempeñe un papel importante para alcanzar los objetivos futuros de política energética de la Unión Europea (UE). Sin embargo, la sostenibilidad de los sustratos de biogás ha sido objeto de un debate crítico debido al aumento de la proporción de tierras utilizadas para la producción de cultivos energéticos. Mediante el análisis geográfico del potencial energético de una selección de residuos agroganaderos se ha documentado



FIGURA 8.1
La planta de biogás a gran escala destinada a I+D en Foulum.
FOTO Food & Bio Cluster Denmark.

una mejora de los rendimientos de biogás cuando se co-digieren. Los tipos de residuos investigados fueron deyecciones ganaderas, paja procedente de la producción de cereales y excedentes de hierba de prados y praderas permanentes y en rotación.

Los resultados muestran que en todos los Estados miembros de la UE existen alternativas sostenibles al uso del maíz, el cultivo energético dominante, en un grado suficiente para asegurar un desarrollo progresivo continuo del sector europeo del biogás.

Las principales actividades de investigación están relacionadas con la estructura y la función de las comunidades microbianas en los ecosistemas artificiales, principalmente en relación con el tratamiento de aguas residuales, la recuperación biológica de recursos (como el fósforo) y la producción de bioenergía. Los microorganismos no cultivados se investigan mediante diversos métodos ómicos (metagenómica, metatranscriptómica, metaproteómica y metabolómica) en combinación con la microbiología unicelular como, por ejemplo, el uso de microscopios y marcadores. La investigación se centra en los organismos involucrados en la eliminación biológica de P y N, así como en los organismos que causan espumas e hinchamientos.

Universidad de Aalborg

Centro de Bioenergía e Ingeniería Renovable, Campus Esbjerg, Dinamarca.

Universidad de Aalborg

Centro de Investigación de Comunidades Microbianas, Departamento de Química y Biociencia.

8.1.3 Universidad del Sur de Dinamarca

La Universidad del Sur de Dinamarca (SDU) desarrolla una amplia gama de actividades de investigación relacionadas con la producción de biogás, en particular el uso de diferentes tipos de biomasa, el potencial de biogás y la optimización de los procesos. Recientemente se ha realizado un muestreo de datos para asegurar la fiabilidad de los resultados de un total de nueve sistemas de purificación de biogás. Mediante un simple proceso de diseño el modelo simula un

sistema de purificación de biogás y proporcionará información sobre la economía del sistema, los flujos y coste de la energía. El modelo incluye cuatro sistemas tradicionales de purificación: el lavado con aminas, el PSA, la membrana y el lavado con agua y tres métodos de purificación que usan hidrógeno (concepto denominado Hydrogen Assisted Biogas Upgrading, HABU): el catalizador químico, biológico in situ y biológico ex situ. Además, se ha incluido una solución combinada, utilizando un biofiltro percolador y un lavado con aminas.

Son especialistas en la conversión de biomasa en productos de alto valor mediante tratamiento bioquímico, biorremediación aerobia y anaerobia para la salud ambiental y la producción de bioenergía.

- Proceso de digestión anaerobia y optimización de co-digestión para la producción de biogás
- NIR, análisis no destructivo del potencial de metano y materias orgánicas recalcitrantes
- Análisis de datos multivariados (quimiometría), modelado PLS
- Tecnologías de tratamiento de aguas residuales y lodos
- Tecnologías de pre-tratamiento y pre-almacenamiento
- Análisis de la cadena de valor del carbono
- Biorrefinería y bioeconomía

Departamento de Química

Tecnología Biológica y Ambiental
DU Biotechnology
Campusvej 55
5230 Odense M, Dinamarca

8.1.4

Universidad de Roskilde

La Universidad de Roskilde (RUC) investiga en biogás porque todavía hay un potencial significativo para expandir la producción en Dinamarca y en el extranjero. Además, el biogás es más que una energía renovable, pues aporta beneficios para el clima, el medioambiente y la comunidad local:

- Reducción de costes al comprar fertilizantes.
- Aumento de la producción agrícola debido a la mayor cantidad de Nitrógeno absorbible por las plantas
- Creación de valor a partir de residuos no utilizados (por ejemplo, paja y residuos industriales).
- Recirculación de nutrientes.
- Creación de empleos en la zona.

Roskilde University Centre (RUC)

Universitetsvej 1
DK-4000 Roskilde, Dinamarca.

8.1.5

Universidad Técnica de Dinamarca

La Universidad Técnica de Dinamarca (DTU) contribuirá al desarrollo de una tecnología de biogás más rentable: la producción de biocombustibles para camiones y aviones.

El Programa de Desarrollo y Demostración de Tecnología Energética (EUDP) ha concedido varios millones de coronas danesas al proyecto eFuel, que tiene por objeto desarrollar una nueva y sólida tecnología para transformar en metano el CO₂ emitido por las plantas de biogás. Este metano puede convertirse en la materia prima ecológica del mañana para la fabricación de, por ejemplo, combustible de aviación y plásticos renovables.

El proceso implica la recuperación de CO₂ de las plantas de biogás, donde hasta un 40% del gas que producen es CO₂ y que hoy es liberado a la atmósfera. Esta tecnología haría que la producción de biogás fuera libre de fósiles, y con la reutilización del CO₂, también sería más rentable.

Otra materia prima necesaria para el proceso es hidrógeno, que se produce a partir de agua y electricidad (electrólisis) Ante la creciente cantidad de energía eólica existente en la red eléctrica, esta tecnología es una de las más demandadas para almacenar energía eólica.

La tecnología eFuel aumentará el rendimiento de la biomasa en más del 60%, lo que hará más rentable la conversión de biogás en biocombustibles avanzados para el transporte de mercancías pesadas y la aviación.

La DTU cuenta con una amplia experiencia en el ámbito de la producción de biocombustibles (biogás, biohidrógeno, bioetanol), la optimización de los procesos anaerobios y el desarrollo de soluciones sostenibles para el tratamiento de residuos orgánicos y aguas residuales. El Grupo de Bioenergía de DTU Environment está trabajando en las siguientes áreas: biogás, biocombustibles, electroquímica microbiana, algas como biorrecurso y biorrefinerías.

El Grupo de Bioenergía de la DTU trabaja en varios modelos de biorrefinería donde los residuos se convierten en varios bioproductos, además de energía y combustibles. Un ejemplo de una nueva forma de utilizar el biogás es convertir microbiológicamente el metano en proteínas unicelulares a través de un proceso aerobio para que puedan ser utilizadas como alimento para animales. DTU ha desarrollado esta posibilidad mediante un proyecto MUDP (FUBAF) junto con varias empresas y el Ayuntamiento de Copenhague. Otro producto interesante en el que el CO₂ del biogás se combina con materiales procedentes de residuos orgánicos para producir ácido biosuccínico, que es una interesante plataforma química utilizada para una amplia variedad de productos finales. El concepto se encuentra actualmente en fase de escalado a través de un proyecto financiado por la UE (Neosucces).

8.2

Centros de conocimiento

En Dinamarca hay un gran número de empresas e instituciones que poseen competencias en el diseño, la planificación, el establecimiento y la puesta en marcha de plantas de biogás. Algunas de ellas se mencionan en esta sección.

8.2.1

Instituto Tecnológico Danés

El Instituto Tecnológico Danés (DTI) tiene más de 15 años de experiencia trabajando en los aspectos químicos y biotecnológicos relacionados con la producción de biogás, aplicación del digestato y aprovechamiento de sus nutrientes. DTI trabaja con empresas danesas y extranjeras en el desarrollo, ensayo y verificación de conceptos, prototipos y soluciones comerciales.

En la transición había una bio-sociedad las plantas de biogás desempeñarán un papel crucial. Al igual que los residuos orgánicos y la biomasa agrícola se utilizan para producir energía renovable, las plantas de biogás permiten además la recuperación de nutrientes y carbono devolviéndolos al sector agrícola. El Instituto Tecnológico Danés posee más de 10 años de experiencia en el desarrollo y documentación de soluciones para optimizar el aprovechamiento

del digestato, y está capacitado para realizar pruebas de campo y determinar el valor fertilizante de deyecciones desgasificadas y sus subproductos.

DTI ofrece asesoramiento sobre:

- Desarrollo de tecnologías para separación y tratamiento posterior de biomasa desgasificada o digestato
- Nuevos productos fertilizantes y enmiendas de suelos a partir de digestato
- Aplicaciones para la fracción de fibra
- Oportunidades para mejorar el efecto fertilizante del digestato
- Soluciones para cumplir con el límite en la aplicación de Fósforo en cultivos agrícolas
- Análisis de viabilidad económica de inversiones en tecnologías relacionadas con la gestión del digestato
- Demostración, prueba y verificación de tecnologías de tratamiento de purines desgasificados para verificar su efectividad y estabilidad operativa

Instituto Tecnológico

Tecnología biológica y ambiental
Agro Food Park 13
8200 Aarhus N, Dinamarca

8.2.2 Biogas Denmark

La asociación danesa de la industria del biogás trabaja para asegurar la transición a una sociedad energéticamente independiente de los combustibles fósiles mediante la conversión de las deyecciones ganaderas, los productos residuales de la industria y los hogares, así como otros residuos orgánicos, en energía renovable y fertilizantes inocuos para el medioambiente, asegurando el suministro futuro de energía y alimentos. La asociación representa a todos los agentes con intereses en el sector del biogás: productores de biogás, proveedores de plantas y equipos, asesores, proveedores de biomasa, empresas energéticas, empresas de transporte, gestores de residuos y agricultores, centros de conocimiento, etc.

La asociación danesa de la industria del biogás trabaja para promover la producción y el uso del biogás en Dinamarca y el extranjero.

8.2.3 SEGES

SEGES y el Consejo Danés de Asesoramiento Agrícola cuentan con varios miles de empleados que asesoran al sector agrario, en todo tipo de cuestiones, incluyendo el área de fertilización.

SEGES también presta sus servicios de asesoramiento en el campo del biogás y tiene una amplia lista de referencias que abarca plantas individuales y centralizadas de biogás, plantas de purificación y tanques de digestión anaerobia para depuradoras de aguas residuales.

Los servicios de SEGES incluyen:

- Diseño de sistemas, equipos y conceptos de control para plantas de biogás
- Balances de masas y energía, y evaluaciones comparativas de plantas
- Optimización de la operación de plantas de biogás existentes, incluyendo procesos biológicos, maquinaria y condiciones de control
- Auditorías para la certificación de biomasa y la producción de biogás
- Condiciones especiales relacionadas con la biomasa orgánica y la producción de biogás
- Dimensionamiento y diseño de sistemas de saneamiento, incluidos intercambiadores de calor para purines y lodos, y su integración en plantas de producción de calor y de biogás
- Diseño y optimización de plantas de tratamiento de azufre y limpiadores de olores

Los empleados de SEGES cuentan con referencias en varios países de todo el mundo, incluidos Japón, China, Taiwán, Tailandia, Sudáfrica, Bulgaria y otros países europeos.

Además, SEGES realiza entre otras tareas, auditorías, visitas y estimaciones, etc. en relación con acuerdos comerciales y disputas, y también en relación a plantas de biogás. Finalmente, también realiza gestiones ante la administración danesa, en colaboración con el Consejo Consultivo Agrícola Danés.

8.2.4 Food and Bio Cluster Denmark

Food & Bio Cluster Denmark is the national cluster for food and bioresources in Denmark. We are the collective platform for innovation and growth in the cluster – for both Danish and international companies and knowledge-based institutions. We promote increased cooperation between research and business and offer our members one-stop-shop access to networks, funding, business development, projects and facilities. We offer various consultancy services, i.e. writing applications for soft funding, organising thematic tours and business missions, writing reports on different topics within our areas of expertise, and more.

Please visit www.foodbiocluster.dk for more information.

9 Empresas, proveedores y asesores

Las empresas danesas acumulan muchos años de experiencia en la construcción y operación de plantas de biogás, y están en disposición de suministrar los siguientes servicios y productos:

- Conocimientos técnicos y asesoría generales
- Venta e instalación de equipos y maquinaria
- Apoyo a la planificación, diseño y dimensionamiento de plantas de biogás
- Cooperación en la ejecución del proyecto
- Cooperación en operación y mantenimiento
- Construcción de plantas e instalaciones llave en mano:
 - Plantas de biogás completas
 - Unidades de purificación del biogás
 - Instalaciones de pretratamiento de biomasa y residuos
 - Instalaciones de motores de gas y de cogeneración
 - Unidades de refrigeración y limpieza de gases
 - Tanques digestores, de almacenamiento, etc.

LOGO	CONTACTO	DESCRIPCIÓN	GESTIÓN Y PRETRATAMIENTO DE BIOMASA	PROYECTOS LLAVE EN MANO, INGENIERÍA Y CONSULTORÍA	COMPONENTES Y EQUIPOS	PURIFICACIÓN Y USO DEL GAS	USO DE FERTILIZANTES	I+D	OTROS
	A-Consult Group A/S Indkildevej 6B DK - 9210 Aalborg SØ +45 9687 5800 www.aconsult.dk	A-Consult está especializada en suministrar soluciones para el almacenamiento y gestión de líquidos para los sectores agrícola, del ciclo del agua, industrial y de las energías renovables. Desde 1986 A-Consult ha instalado con éxito más de 8.000 tanques en toda Europa.	●	●		●	●		
	AEM Engineering Hyrdeengen 37 DK - 2625 Vallensbæk +45 2480 9024 www.aem-engineering.dk	Proveedor de motores de gas y grupos electrógenos FRICHS. Centrales eléctricas y grupos electrógenos para biogás, gas de síntesis y otros gases. Paneles de potencia y control SIVACON. Sistemas de control y alarma. Instalación, servicio y reparación de motores FRICHS y otras grandes marcas.		●	●	●			
	Aikan A/S Vadsbystræde 6 DK - 2640 Hedehusene +45 4399 5020 www.aikan.dk	Aikan A/S lleva 20 años ofreciendo soluciones robustas para la recirculación de residuos y la producción de energías renovables. Aikan gestiona cualquier tipo de residuos sólidos, incluyendo tanto el tratamiento previo de los residuos como la gestión de los subproductos destinados al usuario final, a pesar de los bajos costes de instalación y funcionamiento de sus soluciones.	●	●			●	●	
	Ammongas A/S Ejby Mosevej 5 DK - 2600 Glostrup +45 4363 6300 www.ammongas.dk	Ammongas A/S suministra plantas llave en mano para la purificación de aire y gas, incluidas plantas de purificación de biogás con aminas (PSA), módulos para la separación y concentración de amoníaco, sistemas de lavado (scrubbers) y filtros de carbón activo.		●		●			
	BBK bio airclean A/S Linnerupvej 5 DK - 7160 Tørring +45 7567 6066 www.BBK.dk	BBK desarrolla biofiltros para eliminar olores. Invertir en un biofiltro BBK garantiza una buena relación con los vecinos y las autoridades locales. BBK está en el mercado desde 1992, y ha suministrado biofiltros a varias instalaciones de Dinamarca, Noruega, Suecia, Finlandia, Inglaterra, Escocia, España y Bielorrusia.							●
	BioCover A/S Veerst Skovvej 6 DK - 6600 Vejten +45 2963 4936 www.biocover.dk	El sistema SyreN estabiliza el purín durante su aplicación, frenando la emisión de amoníaco, lo que aumenta la tasa de aprovechamiento del Nitrógeno hasta el 80%, lo que a menudo supone 50kg de Nitrógeno por hectárea. También incrementa en un 40% el Fósforo disponible para las plantas y añade la cantidad correcta de Azufre en forma de sulfatos, que tienen valor fertilizante.					●		
	Biogasclean A/S Magnoliavej 10 DK- 5250 Odense SV +45 6617 2177 www.biogasclean.com	Biogasclean A/S suministra sistemas de desulfuración biológica totalmente automatizados con bajos costes de funcionamiento, alta disponibilidad, garantía de rendimiento y que no requieren la adición de productos químicos. Más de 270 referencias avalan a Biogasclean, que suministra gas limpio a más de 580 MW de motores de gas.			●	●			
	Birodan A/S KC ProSupply Alsvej 21 DK - 8940 Randers SV +45 8644 8734 www.birodan.dk	BIRODAN A/S es una empresa de KC ProSupply propiedad de Makeen Energy Group, que ofrece una amplia gama de equipos de gas y cuenta con especialistas cualificados que asesoran a sus clientes a elegir el producto correcto. Honeywell Krom Schröder es sólo una de sus marcas de prestigio.			●	●			
	Byggeri & Teknik I/S Birk Centerpark 24 DK - 7400 Herning +45 4024 3081 www.byggeri-teknik.dk	Diseña y planifica explotaciones ganaderas, incluyendo los sistemas para la gestión de los purines : almacenamiento, bombeo, etc.		●			●		●
	C.K. Environment A/S Walgerholm 3 DK - 3500 Værløse +45 4498 9906 www.cke.dk	Durante más de 20 años, CK Environment A/S ha ofrecido soluciones de vanguardia para la industria del biogás, como la toma de muestras de biomasa y el análisis de parámetros como CH ₄ , H ₂ S, CO ₂ , O ₂ , VOC y NH ₄ , índice WOBBE y mediciones de flujo y nivel.	●	●	●	●		●	
	C-Biotech Fruebjergvej DK - 2100 Copenhagen +45 2882 9953	C-Biotech es una empresa que incorpora nuevas tecnologías al mercado. Mantiene una fuerte conexión con la comunidad científica y introduce tecnologías técnica y científicamente probadas a los productores de biogás en el mercado danés, escandinavo y europeo.	●		●			●	



LOGO	CONTACTO	DESCRIPCIÓN	GESTIÓN Y PRETRATAMIENTO DE BIOMASA	PROYECTOS LLAVE EN MANO, INGENIERÍA Y CONSULTORÍA	COMPONENTES Y EQUIPOS	PURIFICACIÓN Y USO DEL GAS	USO DE FERTILIZANTES	I+D	OTROS
	Combigas ApS Ryttervangen 11C DK - 7323 Give +45 2779 1346 www.combigas.dk	Combigas diseña, desarrolla, implementa y da soporte a soluciones completas para la producción de biogás. Nuestra tecnología de biogás convierte los residuos orgánicos en energía limpia y sostenible, y un valioso fertilizante.		●					
	Copenhagen Capacity Nørregade 7b 3th floor DK - 1165 Copenhagen +45 4022 1436 www.copcap.com	Copenhagen Capacity ayuda a las empresas e inversores extranjeros a encontrar y materializar oportunidades comerciales en la región metropolitana de Copenhague. La producción y el uso del biogás en Dinamarca están fuertemente promocionadas por el gobierno y los ambiciosos objetivos políticos en materia medioambiental, así como por el importante papel que juega el sector agrario del país, con 25 millones de cerdos sacrificados al año, supone una base sólida para el sector del biogás.	●	●	●	●	●	●	
	Danish Biogas Consulting Garmestervej 18B DK - 8600 Silkeborg +45 8683 7483 danskbiogasraadgivning.dk	Ofrece servicios de consultoría en todas las etapas de producción de biogás; desde la planificación y el desarrollo de proyectos, hasta el diseño, implementación, operación y mantenimiento. Sus servicios incluyen análisis de laboratorio, control y optimización biológica, y certificados de sostenibilidad.	●	●	●	●	●	●	●
	Danish Energy Agency Carsten Niebuhrs Gade 43 DK - 1577 Copenhagen +45 3392 6700 www.ens.dk/en	El departamento de bioenergía de la Agencia de Energía Danesa desarrolla los marcos regulatorios necesarios para asegurar la implementación de las directivas de la UE y el desarrollo sostenible del sector danés de biogás. La Agencia también es responsable de desarrollar y administrar los esquemas de apoyo y subsidios al biogás.							●
	Danish Technological Institute Kongsvang Alle 29 DK - 8000 Aarhus C +45 7220 2000 www.teknologisk.dk	DTI tiene más de 15 años de experiencia en todos los aspectos de la producción y utilización del biogás. Ofrece sus servicios a empresas danesas e internacionales sobre biomasa, optimización de procesos, estudios de viabilidad, así como ensayos y pruebas de verificación en laboratorio y a escala piloto.	●	●	●	●	●	●	
	Danish Technological Institute - AgroTech Agro Food Park 15 DK - 8200 N Skejby +45 72 20 32 95 www.dti.dk	La división Agrotech del Instituto Tecnológico Danés (DTI) cuenta con más de 30 años de experiencia en consultoría y desarrollo tecnológico dentro de un amplio campo de cuestiones de digestión anaerobia. Nuestros clientes son empresas, agricultores y autoridades.	●		●	●	●	●	●
	Dansk Ventil Center A/S Ferrarivej 14 DK - 7100 Vejle +45 7572 3300 www.dvcas.dk	Dansk Ventil Center A/S lleva suministrando válvulas a la industria del biogás durante muchos años. Sus productos están diseñados para alcanzar el más alto nivel técnico, y además tienen un nivel de precio competitivo debido a su innovador diseño y su producción a gran escala.			●				
	EnviDan A/S Vejlsovej 23 DK - 8600 Silkeborg +45 8680 6344 www.envidan.dk	Sus expertos en biogás tienen una avanzada y dilatada experiencia trabajando con plantas de biogás y han prestado su asesoramiento a un amplio número de proyectos de biogás en Dinamarca y en el extranjero, en por ejemplo, estudios de viabilidad, consultoría de procesos, análisis de normativas, preparación de licitaciones y supervisión de proyectos.		●					
	Eurofins Agro Testing Denmark A/S Ladelundvej 85 DK - 6600 Vejle +45 7660 4242 www.eurofins.dk/agro	Eurofins Agro Testing Denmark A/S está acreditado y autorizado para realizar análisis para el sector agrario. La empresa realiza pruebas analíticas, prepara documentación y ofrece soluciones a medida a las plantas de biogás y a cualquier actor que ofrece materias orgánicas a los sectores del biogás, bioenergía, piensos y compostaje.	●		●	●	●	●	●
	Food & Bio Cluster Denmark Agro Food Park 13 DK - 8200 N Skejby +45 8999 2500 www.foodbiocluster.dk	Food & Bio Cluster Denmark es el clúster nacional de alimentación y biorrecursos de Dinamarca, y constituye la plataforma colectiva de innovación y crecimiento para los miembros del clúster: empresas, tanto danesas como internacionales, y centros de conocimiento.						●	●
	Frichs Pyrolysis ApS Sverigesvej 14 DK - 8700 Horsens +45 4036 7165 www.frichs-pyrolysis.dk	Mineralización térmica: el método para reducir el CO ₂ . Mineralizando la biomasa seca a altas temperaturas y sin oxígeno, se extrae carbono del circuito, evitando que se convierta en CO ₂ . El gas obtenido tiene un alto valor calorífico y puede, por ejemplo, producir electricidad y calor mediante un generador de gas.	●	●		●		●	

LOGO	CONTACTO	DESCRIPCIÓN	GESTIÓN Y PRETRATAMIENTO DE BIOMASA	PROYECTOS LLAVE EN MANO, INGENIERÍA Y CONSULTORÍA	COMPONENTES Y EQUIPOS	PURIFICACIÓN Y USO DEL GAS	USO DE FERTILIZANTES	I+D	OTROS
	Gemidan Ecogi A/S Drivervej 8 DK - 6670 Holsted +45 7678 2101 www.ecogi.dk	La tecnología Ecogi ha sido desarrollada tras años de experiencia en el tratamiento y reciclado de residuos, y establece nuevos estándares en la pureza de la pulpa, especialmente cuando se trata de minimizar su contenido de plásticos. Ecogi es conocido por elaborar un producto de sustrato único que ha obtenido la certificación ETV de pureza y calidad.	●		●				
	Hexa-Cover A/S Vilhelmsborgvej 5 DK - 7700 Thisted 45 9617 7800 www.hexa-cover.dk	El exclusivo sistema Hexa-Cover® es perfecto para casi cualquier superficie fluida. La cubierta flotante Hexa-Cover® se utiliza en casi todo tipo de balsas, lagunas, embalses, contenedores, estanques y depósitos. Desde su lanzamiento en 2004, la cubierta flotante Hexa-Cover® ha sido elegida por un gran número de instalaciones en todo el mundo, lo que la sitúa como la solución líder en el mercado.	●		●				
	Hybridfilter A/S Industrivej 8 DK - 8740 Brædstrup +45 8657 1700 www.hybridfilter.dk	Hybridfilter, desarrolla y suministra filtros biológicos para neutralizar los gases de hidrógeno. Desde 2012, dispone de una amplia experiencia en la industria de aguas residuales y suministra a alrededor del 70% de las compañías de aguas danesas. La empresa empezó a suministrar al sector del biogás en 2016.	●		●				
	Højgaard ApS Fabjergkirkevej 51 DK - 7620 Lemvig +45 9789 3012 www.hojgaards.dk	Højgaard, tiene más de 50 años de experiencia desarrollando y fabricando bombas, mezcladores y separadores de purines. Cada componente y proceso es diseñado para asegurar un uso diario óptimo. La automatización y los productos «inteligentes» de Højgaard contribuyen a aumentar la productividad de una planta de biogás.	●		●				
	Kemira Oyj Amager Strandvej 390 DK - 2770 Kastrup +45 6991 8893 www.kemira.com	Para lograr un alto rendimiento de biogás y bajos costes de purificación, es esencial mantener bajos los niveles de sulfuro de hidrógeno. Los productos de Kemira BDP son la forma más eficiente de controlar los niveles de sulfuro en el digestor.	●			●			
	Kinetic Biofuel A/S Solbjergvej 19 DK - 9574 Bælum +45 21640090 or +45 21495940 www.kineticbiofuel.com	Nueva tecnología de pretratamiento para residuos agrícolas, como la paja de cereal, que permite la codigestión con deyecciones ganaderas en plantas de biogás. El proceso se basa en una tecnología de briquetado mecánico que genera explosiones de vapor y permite que las briquetas de paja sean absorbidas en la planta de biogás hasta 7 veces más tras el proceso de briquetado. Se pueden entregar líneas completas a partir de 500 kg/h.	●						
	Landbrug & Fødevarer F.m.b.A. - SEGES Agro Food Park 15 DK - 8200 Aarhus N +45 8740 5000 www.seges.dk/en	SEGES cubre todos los aspectos de la agricultura y gestión agraria y tiene un amplio conocimiento sobre la gestión y aprovechamiento de nutrientes. SEGES también presta servicios de asesoría en el campo del biogás y ha diseñado y optimizado la operación de muchas plantas de biogás, tanto individuales como centralizadas.	●	●	●	●	●	●	●
	Landia A/S Industrivej 2 DK - 6940 Lem St. +45 9734 1244 www.landia.dk	Landia ofrece soluciones de bombeo y agitación-mezcla de alta calidad a numerosos sectores, incluidas la agricultura y el biogás. Los equipos de Landia son particularmente conocidos por su eficacia trabajando con líquidos difíciles de manipular y por la facilidad de realizar su mantenimiento. Descubra más en www.landiaworld.com	●		●				
	Lind Jensens Maskinfabrik A/S Krogshusvej 7, Højmark DK - 6940 Lem St. +45 9734 3200 www.ljm.dk	Lind Jensens Biogas ofrece más de 30 años de experiencia en la fabricación, mantenimiento y comercialización de equipos de la más alta calidad para gestionar biomasa y otros sustratos en una planta de biogás. Lind Jensen se distingue por su esfuerzo diario para entregar el producto correcto con la calidad correcta y al precio correcto a sus clientes en todo el mundo.			●				
	LSH-Biotech ApS Katrinesholmsalle 62 DK - 8300 Odder +45 2960 3008 www.lsh-biotech.dk	LSH-BIOTECH es una empresa basada en el conocimiento con años de experiencia en el diseño, la planificación y el desarrollo de equipos especiales para la industria, principalmente al sector del biogás. Sus soluciones se basan en una sólida comprensión del negocio de sus clientes, y sus conocimientos y experiencia técnicos.	●	●	●	●			●
	Lundsby Biogas A/S Hjarbækvej 65 DK - 8831 Løgstrup +45 9649 4300 www.lundsbybiogas.dk	Opera y construye llave en mano plantas de biogás con una técnica sólida, flexible y sencilla, personalizada a las necesidades de los clientes, con calidad y experiencia. Cooperamos con varios proveedores de plantas de purificación, por lo que nuestras plantas de biogás llave en mano pueden generar biometano para su inyección a la red de gas natural. También negocia con plantas energéticas para evaluar posibilidades de suministro.	●	●	●	●	●	●	

LOGO	CONTACTO	DESCRIPCIÓN	GESTIÓN Y PRETRATAMIENTO DE BIOMASA	PROYECTOS LLAVE EN MANO, INGENIERÍA Y CONSULTORÍA	COMPONENTES Y EQUIPOS	PURIFICACIÓN Y USO DEL GAS	USO DE FERTILIZANTES	I+D	OTROS
	Nature Energy Biogas Ørbækvej 260 DK - 5220 Odense SØ +45 70 22 40 00 www.natureenergy.dk	Nature Energy es el proveedor líder de biometano de Dinamarca con 10 plantas en operación que producen más de 170 millones de m3 de biometano al año, lo que hace de Nature Energy es uno de los mayores productores mundiales de biometano. El insumo en sus plantas son principalmente deyecciones ganaderas y residuos alimentarios. Nature Energy tiene más plantas en fase de desarrollo y construcción.		●		●	●	●	●
	NISSEN energy A/S Godthaabsvej 1 DK - 8660 Skanderborg +45 7575 6500 www.nissenenergy.com	NISSEN energy suministra servicios y productos para asegurar una producción económica y beneficiosa de energía sostenible: unidades de cogeneración (CHP), sistemas de tratamiento de gas, unidades de conversión de biogás en gas renovable y quemadores y calderas de bajo NOx.		●	●	●			
ON/OFF MANAGEMENT	ON/OFF Management ApS Toldboden 3, 1 sal D DK - DK-8800 Viborg +45 2943 7648 www.onoffmanagement.dk	Más de 30 años de experiencia en sistemas de biogás, a nivel nacional e internacional. Competencias en las siguientes áreas: desarrollo de proyectos y planes de negocio, gestión de proyectos, diseño de plantas de biogás, ejecución, puesta en marcha, cooperación y optimización.		●					
	PlanEnergi Jyllandsgade 1 DK - 9520 Skørping +45 9682 0400 www.planenergi.dk	PlanEnergi es una fundación que brinda consultoría a clientes que desean planificar, implementar y operar sistemas de energías renovables. Los servicios de consultoría de PlanEnergi incluyen planificación, diseño, licitación, supervisión durante la implementación, puesta en marcha y optimización de la operación de plantas de biogás.	●	●	●	●	●	●	
	PurFil ApS Blaabaervej 61 DK - 5260 Odense S +45 4015 8777 www.purfil.com	PurFil® cuenta con una serie de nuevos módulos de separación de residuos líquidos que no consumen productos químicos en el proceso : PURROT® - PURUF® - PURRO® - PURNIT® - PURDRY® - PURCOMP®. Se venden en módulos (como los bloques de LEGO) y se pueden ir añadiendo al sistema según el grado de pre-separación y/o post-separación necesario en granjas, EDAR y plantas de biogás.	●	●	●		●		
	Ramboll A/S Hannemanns Allé 53 DK - 2300 Copenhagen S +45 5161 1000 www.ramboll.com/energy	Ramboll posee más de 30 años de experiencia en el sector del biogás y ha prestado sus servicios de consultoría a las plantas centralizadas de biogás más recientes de Escandinavia. Asesora a productores de biogás, empresas de depuración de aguas y gestión de residuos, gobiernos locales y centrales, promotores, inversores y bancos.		●					●
	Renew Energy A/S Kullinggade 31 DK - 5700 Svendborg +45 6222 0001 www.renewenergy.dk	Empresa de servicios de ingeniería de biogás especializada en digestión anaerobia y en soluciones de separación avanzadas, con más de 30 años de experiencia en trabajos de diseño, ingeniería, adquisiciones, dirección de obra, puesta en marcha y operación, en todo el sector agroalimentario.	●	●	●	●	●	●	
	SAMSON AGRO A/S Vestermarksvej 25 DK - 8800 Viborg +45 8750 9300 www.samson-agro.com	SAMSON AGRO, con sede en Dinamarca, es un fabricante internacional de máquinas y equipos de alta calidad para la aplicación de fertilizantes orgánicos. Su objetivo es satisfacer la demanda del sector agrícola mundial con soluciones que optimicen el aprovechamiento de los nutrientes y apliquen las deyecciones ganaderas de manera eficiente y respetuosa con el medioambiente.					●		
	Stjernholm A/S Birkmosevej 1 DK - 6950 Ringkøbing +45 7020 2505 www.stjernholm.dk	Stjernholm desempeña un papel central en el mercado del tratamiento del agua tanto en plantas de depuración públicas como privadas, sistemas de alcantarillado e instalaciones de abastecimiento de agua en todo el país. Aplicamos el conocimiento actualizado de manera activa y trabajamos continuamente para integrar conocimiento nuevo y útil en nuestras soluciones.	●		●				
	Technical University of Denmark Bygningstorvet, Building 115 DK - 2800 Lyngby +45 4525 2525 www.dtu.dk	DTU es una universidad politécnica que tiene la visión de desarrollar y crear valor utilizando las ciencias naturales y técnicas en beneficio de la sociedad. DTU está clasificada como la mejor universidad escandinava, la 49.ª mejor universidad de Europa y la 119.ª mejor universidad del mundo según el «Leiden Ranking 2019 - impact».							●
	NY adresse	Unibio es una empresa danesa líder en biotecnología industrial con competencias esenciales en fermentación utilizando metano o biogás concentrado como materia prima. Unibio ha desarrollado una tecnología de fermentación innovadora y única, el U-Loop®, que convierte el metano procedente de cualquier fuente en proteínas orgánicas y altamente concentradas.	●	●	●				●

LOGO	CONTACTO	DESCRIPCIÓN	GESTIÓN Y PRETRATAMIENTO DE BIOMASA	PROYECTOS LLAVE EN MANO, INGENIERÍA Y CONSULTORÍA	COMPONENTES Y EQUIPOS	PURIFICACIÓN Y USO DEL GAS	USO DE FERTILIZANTES	I+D	OTROS
	UNI-LINK ApS Lysabildgade 63 DK - 6470 Sydals +45 5121 0019 www.uni-link.dk	Suministro de combustibles renovables: UNI-LINK ApS suministra biomasa a partir de residuos agrarios, entre otros del prensado de la aceituna como tortas de alperujo o pellets.	●						
	University of Southern Denmark Campusvej 55 DK-5230 Odense M www.sdu.dk/en/	La Universidad de Dinamarca del Sur (SDU) cuenta con una amplia gama de actividades en sistemas de biogás, desde materias primas hasta su conversión en biometano. En particular la SDU está especializada en: 1) tecnologías avanzadas de pretratamiento de biomasa 2) análisis espectroscópico de biomasa para la rápida determinación de su potencial de metano 3) configuración avanzada de biorreactores para fermentación secuencial y digestión anaerobia 4) modelado de la cadena de valor del carbono en un sistema de biogás 5) purificación del biogás, captura de CO ₂ y su valorización. También ha participado en estudios, en estrecha colaboración con el sector danés del biogás, sobre el diseño y desarrollo de nuevos reactores de biometanización desde la fase de laboratorio hasta la de proyecto piloto.		●				●	
	Westcome Heat Exchangers A/S Saloparken 14 DK - 8300 Odder +45 2811 9105 www.westcome.com	Westcome Heat Exchangers A/S desarrolla y suministra intercambiadores de calor de flujo a contracorriente para plantas de biogás, EDARes y sectores donde es necesario un intercambio de calor en flujos de materias secas. Sus intercambiadores funcionan a velocidades de flujo muy bajas, lo que significa que la caída de presión es también muy baja, reduciendo el consumo de energía de las bombas en un 70-80 % en comparación con los intercambiadores de calor comunes. El hecho que los intercambiadores de calor de Westcome están completamente soldados, sin juntas, elimina los costes de mantenimiento y constituye una garantía frente a los problemas de suciedad y bloqueo. La empresa suministra intercambiadores a medida tanto en longitud como en anchura y altura, y además pueden funcionar con diferentes flujos en ambos circuitos.	●		●				
	WH-PlanAction Consulting Engineers ApS Danmarksvej 8 DK - 8660 Skanderborg +45 8745 3900 www.wh-pa.dk	Esta consultora independiente, especializada en servicios a inversores y productores de biogás, cuenta con 25 años de experiencia en el sector, y ofrece a sus clientes servicios de planificación, diseño y establecimiento de plantas de biogás, así como la puesta en marcha de plantas de biogás modernas y rentables, que suministran fertilizantes de valor añadido a los agricultores.	●	●	●	●	●	●	
	Wing Consult A/S Holtumvej 14 DK - 7400 Herning +45 7669 8384 www.wingconsult.com	Un sistema de gestión eficiente diseñado para el sector de la energía, específico para la producción y la comercialización de biogás certificado, garantiza la seguridad en la operación, documentación y trazabilidad. Wing Consult A/S ha desarrollado un Sistema de Gestión dedicado (MMS-Energy) que cumple con todos los requisitos para la adecuada documentación del balance de biomasa, el potencial de biogás y la producción y comercialización sostenibles de biogás, y asegurar el cumplimiento con los sistemas de certificación REDCert, ISCC, etc. Además, el Sistema de gestión MMS-Energy ofrece instalaciones seguras para su operación y mantenimiento, además está basado en navegador y su plataforma informática se integra fácilmente con otras plataformas informáticas, como por ejemplo sistemas de gestión financiera.							●
	Aalborg University Niels Bohrs vej 8 DK - 6700 Esbjerg +45 2166 2511 www.et.aau.dk	La AAU es una reconocida universidad danesa con una amplísima oferta de enseñanza. Sus programas de Ingeniería se sitúan en el cuarto lugar del mundo. La AAU realiza todo tipo de estudios de sostenibilidad y proyectos para la transición sostenible a escala internacional, incluyendo grandes proyectos de energías renovables y eficiencia energética. Las energías eólica, solar y bioenergía, incluido el biogás, constituyen las principales especialidades del departamento de energías renovables. En cuanto al biogás, la investigación y los proyectos de digestión anaerobia han sido áreas de trabajo prioritarias para AAU durante los últimos 25 años, participando en proyectos internacionales, talleres y programas de formación.	●				●	●	●

REFERENCIAS

- LIVESTOCK MANURE TO ENERGY** Status, Technologies and Innovations in Denmark 2012. Agro Business Park.
- PRESENTATION, ENS MARTS 2019** Bodil Harder
- BIOGAS UPGRADING – TECHNICAL REVIEW** Energiforsk 2016
- BIOGAS DANMARK** www.biogasbranchen.dk
- DGC, REVIEW OF BIOGAS UPGRADING** Project Report September 2017
- ENERGIFORSK 2016**
- BIOGAS DANMARK** Bruno Sander Nielsen 21/04-2020
- SCANDINAVIAN BIOGAS HANDBOOK** Aspects of planning a biogas plant, ABP 2014
- PTX I DANMARK FØR 2030** Energinet, april 2019
- SEGES** Lars Villadsgaard Toft
- BIOGAS CLEAN** Note April 2020, Reza Jan Larsen
- NATURE ENERGY** Note April 2020, Jørgen Fink
- NETTOENERGIPRODUKTION I VANDSEKTØREN** Niras, dec. 2017
- BIOGAS RESEARCH AND PRACTICAL** Experiences at Aarhus University Foulum in Denmark, Henrik Bjarne Møller.
- KEMIRA NOTE 13-05-2020** Chemical precipitation
- THE USE OF BIOGAS** Britt Nilsson and Anna-Marie Bogh Public 13-05-2020, Kemira Oyj P.O.Box 330, FI-00101 Helsinki Finland



**Food & Bio Cluster
Denmark**

Niels Pedersens Allé 2
DK - 8830 Tjele
+45 8999 2599
www.foodbiocluster.dk