

CONAMA 2022

CONGRESO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

LIFE SMART AgroMobility

Procesamiento de residuos ganaderos, para la producción de biometano para su uso en vehículos agrícolas y generación de biofertilizantes.



Autor Principal: Carlos Repáraz Martín (NTT DATA Europe & Latam Green Engineering)

Otros autores: Ignacio de Godos Crespo (Universidad Politécnica de Madrid); Marcelo F. Ortega Romero (Universidad Politécnica de Madrid); Laura Sánchez Martín (Universidad Politécnica de Madrid); Marta Arroyo Arévalo (NTT DATA Europe & Latam Green Engineering).

ÍNDICE

1. Título
2. Resumen
3. Objetivos
4. Metodología. Acciones
5. Resultados
6. Bibliografía

RESUMEN

El proyecto LIFE SMART AgroMobility (LIFE19 CCM/ES/001206) surge ante la necesidad de demostrar la viabilidad de un nuevo modelo de gestión de subproductos (dyecciones) ganaderas, basado en las directrices de la economía circular, a partir del tratamiento y valorización integral de dyecciones, teniendo en cuenta aspectos técnico-económicos y medioambientales.

El proyecto se desarrolla en base a cuatro pilares fundamentales:

- La gestión in situ (en la propia granja) de dyecciones ganaderas (purín porcino) mediante biodigestión anaerobia en biodigestores de bajo coste, para la producción de biogás y precursores de abono orgánico (a partir del digestato generado como subproducto de la digestión anaerobia).
- La limpieza y depuración del biogás bruto, mediante un nuevo proceso de upgrading biológico basado en cultivos de microalgas.
- El tratamiento del digestato obtenido en el proceso de digestión anaerobia, a través de los propios cultivos de microalgas, obteniendo una base fertilizante de naturaleza orgánica y alto valor añadido.
- El suministro del biometano obtenido a partir del proceso de limpieza del biogás, a vehículos ligeros, mediante la gasinera instalada en la propia planta demostrativa (en granja).

El modelo de gestión propuesto en este proyecto busca poner en valor la producción de biogás bajo un modelo de generación distribuida, contribuyendo al desarrollo rural sostenible, generando beneficios medioambientales, diversificación de ingresos de los ganaderos y agricultores, nuevas oportunidades de negocio para el desarrollo de municipios rurales.

El proyecto se alinea de forma directa con los objetivos establecidos en la Hoja de Ruta del Biogás, así como con otras estrategias como pueden ser la Estrategia y el Plan Español de Economía Circular, Estrategia Green Deal ('de la granja a la mesa') y la nueva PAC 2023-2027.

Duración: comienzo 01/10/2020 – finalización 30/09/2023

Consortio del proyecto:

Universidad Politécnica de Madrid (coordinador), NTT DATA EUROPE & LATAM GREEN ENGINEERING, S.L.U., COPISO SORIA, S.C, Universidad de Valladolid, Ente público Regional de la Energía de Castilla y León, EREN, ASOCIACIÓN IBÉRICA DE GAS NATURAL Y RENOVABLE PARA LA MOVILIDAD (GASNAM), Natural & bio Gas Vehicle Association (NGVA).

Web proyecto: <https://lifsmartAgroMobility.eu/>

OBJETIVOS

El principal objetivo del proyecto LIFE SMART AgroMobility es demostrar la viabilidad técnico-económica y ambiental de un nuevo modelo de gestión de deyecciones ganaderas, a través del tratamiento y posterior aprovechamiento de estas.

Las tecnologías planteadas en el proyecto abordan la problemática de la valorización de deyecciones ganaderas, a través de la biodigestión mediante innovadores biodigestores de bajo coste (CAPEX y OPEX). El digestato resultante será valorizado como biomasa de alto valor como biofertilizante/bioestimulante a través de un tratamiento y fijación de N y P por parte de las microalgas, que, a su vez, actúan como sistema biológico de refinado del biogás y transformación de este en biometano. Además, la valorización de estos residuos en forma de biometano resulta en una doble mitigación de las emisiones ya que, reduce la demanda de combustibles fósiles dentro del sector agroganadero.

De forma específica, el proyecto plantea los siguientes objetivos:

- **Técnicos:** solución innovadora en el proceso de producción de biogás y su posterior tratamiento (refino y afino). Producción de biometano (combustible vehicular) de acuerdo a la norma UNE EN 16726(2016), y su posterior demostrativa en la utilización del biocombustible en vehículos.
- **Medioambientales:** reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI): (i) metano producto de la utilización y digestión controlada de los residuos; (ii) óxido nitroso, amoniacado (N₂O y NH₃), evitado al tratar las deyecciones ganaderas (purines) (iii) CO₂ evitado por la utilización de biometano en sustitución del uso de combustibles de origen fósil.
- **Económicos:** desarrollo de sistemas de biodigestión anaerobia y depuración conjunta del biogás y digestato, produciendo biometano y biofertilizante. Obtención de combustible autóctono, renovable y competitivo. Contribución a la reducción de la dependencia energética, a través del empleo de un combustible renovable autogenerado por el propio sector ganadero (economía circular).
- **Sociales:** generación de puestos de trabajo directos, relacionados con el propio proceso de producción y utilización del biometano, y de puestos indirectos relacionados con la calidad del combustible, gestión/logística y administración. Puestos de trabajo técnicos y especializados en zonas con alto riesgo de despoblación.
- **Comerciales:** desarrollo de un modelo de negocio basado en la economía circular y referencia para su utilización en el sector ganadero europeo.

Problemática ambiental

Como la mayoría de los sectores económicos, la agricultura produce gases de efecto invernadero (GEI). Los gases de efecto invernadero en su conjunto incluyen CO₂, CH₄, N₂O, NH₃ y gases fluorados. Siendo las principales fuentes de Gases de Efecto Invernadero (GEI), procedentes de las emisiones agrícolas: la fermentación entérica de rumiantes, manejo de estiércol, cultivo de arroz y manejo del suelo. Según el *Informe Cap Context Indicators 2014-2020 (CE)*, en 2015, las

emisiones agrícolas de GEI en la UE-28 ascendieron a 424 millones de toneladas de equivalentes de CO₂. Esto representa el 9.8% de las emisiones totales para ese año.

En cuanto al sector ganadero, de acuerdo con la proyección dada por CAPRI¹ se prevé que, en 2030, este sector sea responsable del 99% del total de las emisiones de CH₄. En cuanto al N₂O, el 11% del total estará vinculado a la gestión y almacenamiento de las deyecciones ganaderas, un 16% a la aplicación de purines como fertilizantes y un 10% de emisiones indirectas. Las estimaciones apuntan a que las emisiones del sector ganadero (para 2030), supondrán el 72% de las emisiones (no CO₂) de GEI en el sector agrícola.

Emisiones en la gestión de purines de porcino

De acuerdo con el informe anual de GEI el sector agrícola es responsable de la emisión del 21% de las emisiones de GEIs a nivel mundial². Las explotaciones ganaderas de carácter intensivo son las mayores emisoras de estos gases debido a la concentración de animales en espacios reducidos (Noya et al., 2016). El manejo del estiércol genera alrededor de 230·106 tCO₂eq/año, siendo el ganado porcino responsable del 40% de dichas emisiones³. El metano (CH₄) y el óxido nítrico (N₂O) son los principales gases emitidos en la producción agropecuaria, sobre todo por la gestión del ganado y del estiércol generado.

Emisiones en la gestión de purines de porcino

Según los datos aportados por la **Asociación Europea de Biogás (EBA)**, en su informe sobre el **Biometano para Transporte**, de los 343 millones de vehículos que circulan por las carreteras europeas, sólo 1,2 millones utilizan gas natural y biometano. El papel dominante en el sector del transporte en Europa lo desempeñan los combustibles fósiles líquidos. Se presentan por tanto dos retos al sector del biogás: El gas natural se utiliza a pequeña escala frente a los combustibles líquidos, y el transporte por carretera depende altamente de combustibles fósiles. Frente a esta situación, el biometano, se plantea como uno de los principales combustibles alternativos, para reducir las emisiones en el sector del transporte.

Emisiones en el sector del transporte

Con la industrialización agrícola el empleo de fertilizantes químicos se ha disparado, pasando de 14 millones de toneladas en 1954 a 200 millones de toneladas en 2020⁴. Se calcula que los fertilizantes sintéticos proporcionan actualmente más del 40% del nitrógeno asimilado por las plantas, habiéndose multiplicado por dos el volumen de nitrógeno que se incorpora al ciclo terrestre (H. Steinfeld et al., 2009). Sin embargo, la eficiencia con que las plantas utilizan los fertilizantes sintéticos es muy baja, y ha caído drásticamente desde su introducción en la agricultura (de un 80% en 1960 al 30% en 2000 en el caso de los cereales). Se calcula que sólo el 17% de los fertilizantes nitrogenados producidos en 2005 fueron asimilados por los cultivos, dispersándose el resto por los ecosistemas y provocando grandes problemas de contaminación y de emisiones (Erisman, JW. et al., 2008). La fertilización con abonos químicos y estiércol (sin tratar), supone un 32% del total de las emisiones en la agricultura (teniendo en cuenta solo los

¹ <https://www.caprimodel.org>

² The State of Food and Agriculture 2016: Climate Change, Agriculture and Food Security. FAO, 2016

³ UNAI, 2009

⁴ FAO. 2022. FAOSTAT: Fertilizers by Nutrient. In: FAO. Rome. Cited July 2022.

aspectos directos, no habiéndose cuantificado las emisiones derivadas de los cambios de uso del suelo).

La transformación propuesta en SMART AgroMobility del purín en una enmienda orgánica (uso del digestato como biofertilizante) evitará el CO₂ generado en el proceso de producción del fertilizante químico (1,5-3 tCO₂/t fertilizante nitrogenado producido⁵, suponiendo un ahorro de emisiones próximo a 30 tCO₂ e/año.

Beneficios ambientales del proyecto

El proyecto SMART AgroMobility plantea diferentes objetivos, enfocados a dar solución a la problemática ambiental (climática) descrita en el apartado anterior. Para ello, en el proyecto se han planteado diferentes acciones dirigidas al desarrollo de técnicas y metodologías alternativas de mitigación ambiental, en la gestión de residuos ganaderos. En el Cuadro 1 se muestra una matriz en la que se han enfrentado las diferentes problemáticas climáticas identificadas, y las soluciones propuestas en el proyecto.

Frente a la problemática actual de gestión de residuos ganaderos, está demostrado que la digestión anaerobia representa una alternativa ambiental, que permite el beneficio del contenido energético mediante el aprovechamiento potencial de la captura de emisiones, y los nutrientes que pueden ser reincorporados en cultivos (Bustamante, 2009).

El proyecto LIFE SMART AgroMobility pretende transformar en biogás la fracción biodegradable de los purines generados en una granja equivalente a 2.990 cabezas de porcino (100% de la capacidad en granja propuesta). Dicha explotación genera anualmente 2.100 m³ de purines, equivalentes a 39.794 m³ de CH₄ (equivalente a 12.253 kg de biometano). Como resultado de la gestión directa de los residuos en un digestor anaerobio (evitando la acumulación prolongada) se reducirán las emisiones de CH₄, CO₂ y N₂O equivalentes a 617 tCO₂e/año. El uso como combustible del biometano en vehículos ligeros evitará la emisión de otras 83 tCO₂e/año y la sustitución de fertilizantes sintéticos por biomasa de microalgas contribuirá en una reducción de 30 tCO₂e/año.

Cuadro 1. Matriz ambiental SMART AgroMobility

Problemática ambiental	Emisiones	Acción propuesta SMART AgroMobility
A. Emisiones de GEI en la gestión de purines porcinos	Emisiones de CO ₂ , CH ₄ y N ₂ O	Biodigestión anaerobia de purines. Upgrading biológico
B. Emisiones en el sector del transporte	Emisiones de CO ₂ , N ₂ O	Producción y empleo de biometano
C. Emisiones en el empleo de fertilizantes	Emisiones de N ₂ O	Producción de biofertilizante (digestato y cultivo de microalgas)

Fuente: Consorcio SMART AgroMobility

⁵ <https://www.fertilizerseurope.com/>

METODOLOGÍA. ACCIONES

En este apartado se realiza una descripción de las acciones planificadas en el proyecto, las cuales establecen la metodología de desarrollo de este.

Acción C1. Ingeniería básica y de detalle del prototipo

El objetivo de esta Acción, es el diseño de una planta demostrativa (prototipo), la cual engloba diferentes procesos: (a) digestión anaerobia (mesófilo) en biodigestor de bajo coste. (b) refinado y afinado del biogás para la producción de biometano, incorporando un sistema online de control de calidad del gas obtenido. (c) unidad de afinado, almacenamiento y suministro del gas para su empleo en vehículos (vehículo ligero y/o tractor).

C.1.1 Ingeniería básica digestión anaerobia

Esta tarea comprende la fase de diseño de la ingeniería básica correspondiente a la plataforma de generación de biogás mediante biodigestión anaerobia de purines. Los principales elementos comprendidos en esta son: biodigestor (de membrana flexible, y un volumen de 150m³), sistema de calefacción del digestor (suelo radiante y caldera de biogás) y sistema de recirculación de purín en biodigestor; almacenamiento de biogás (en el propio biodigestor) y un filtro de biogás (deshidratación del biogás y retirada de compuestos derivados de azufre), para proteger el cuerpo de la caldera.

C.1.2 Ingeniería básica de refinado

Se ha planificado un sistema de refinado de biogás basado en un proceso biológico mediante el uso de microalgas y bacterias. Compuesto por una columna de absorción de 3 m³ y una altura de transferencia de 4m (para la eliminación simultánea de H₂S, N₂O y CO₂), del biogás procedente del digestor (*upgrading*), un sistema de cultivo de microalgas (balsa de cultivo de microalgas tipo raceway de 1.500m²).

Parte del digestato obtenido en el proceso de producción de biogás, es utilizado como nutriente del propio cultivo de microalgas.

C.1.3 Ingeniería básica almacenamiento y gasinera

En esta tarea, se realiza el diseño de la fase de afinado (eliminación gases traza) y la compresión del biometano, para inyección en vehículos.

Se ha considerado un sistema de compresión en multifase del gas, con una doble función: la compresión del gas y el afinado de este. El proceso de afinado consiste en una secuencia de procesos de adsorción en carbón activo y sílica gel seguido de una compresión del biogás hasta una presión de 71 bar, hasta su licuefacción, etapa en la cual se puede realizar la separación de gases traza, obteniendo un biogás libre de NH₃, H₂O, hidrocarburos y CO₂ y con una elevada concentración de CH₄ (biometano).

Posteriormente, el biometano es sometido a otro proceso de compresión, elevando la presión del mismo hasta los 250 bar, presión apta para el suministro a vehículos.

C1.4 Integración de procesos y adecuación a la ubicación concreta.

En esta tarea se considera la integración de los anteriores procesos, en las instalaciones de la granja.

C1.5 Especificación de equipos.

Como paso previo a la ingeniería de detalle, se considera la especificación de los principales equipos del prototipo. En esta tarea, además de identificar equipos principales, se considerarán los tiempos de suministro, con el fin de considerar cualquier incidencia en la acción posterior y que requiera ser identificado de forma temprana y establecer algún mecanismo de aceleración del proyecto

C1.6 Ingeniería de detalle.

Esta tarea comprende la fase de ingeniería de detalle de planta, incluyendo el conexionado de equipos entre ellos y su integración en las instalaciones de la granja, los cálculos (dimensionado) de cada uno de los componentes de la planta demostrativa teniendo en cuenta los datos y la información técnica recogida durante la fase de ingeniería básica.

Acción C2. Construcción del prototipo

Una vez ejecutada la fase de diseño de la planta demostrativa, se procede a la fase de construcción y montaje de la misma.

C2.1 Sistema fotovoltaico alimentación eléctrica planta

Se ha previsto un sistema de generación eléctrica renovable (fotovoltaica) como apoyo a la alimentación eléctrica de equipos. La función de esta instalación es minorar parcialmente el consumo eléctrico de los equipos de la planta, incrementando la potencia fotovoltaica ya existente en la granja.

C2.2 Planta de digestión anaerobia

Esta etapa comprende actividades que parten desde la preparación del terreno para el alojamiento del biodigestor, el montaje del suelo radiante (en la base del biodigestor), así como el conexionado a la caldera de biogás tanto del propio suelo radiante como del biodigestor (línea de biogás para calentamiento del biodigestor). Adicionalmente esta fase comprende el conexionado hidráulico del digestor, tanto para la toma de purín desde la balsa de almacenamiento de granja, como la salida de digestato a balsa de recogida y el sistema hidráulico de recirculación de purín.

C2.3 Planta de refino (*upgrading*) biológico de biogás

El objetivo de esta tarea es el montaje y puesta en marcha del módulo de refino de biogás, para su transformación a biometano (para uso vehicular. Esta tarea comprende diferentes acciones, partiendo del acondicionamiento del terreno, para posteriormente llevar a cabo el conexionado de la conducción del biogás (procedente del biodigestor), así como del digestato, y del agua de reposición. Posteriormente se ha contemplado la instalación del fotobiorreactor abierto tipo

raceway de 1.500 m² donde se realizará el cultivo de microalgas y bacterias responsables de la eliminación del CO₂, N₂O, H₂S y nutrientes del digestato. Y de forma paralela se procede al montaje de la columna de absorción, la cual se conecta con la salida de biogás del biodigestor, y con el fotobiorreactor (microalgas y bacterias).

C2.4 Planta de afino, almacenamiento y gasinera

Esta acción comprende el montaje de la gasinera para la dispensación de biometano a vehículos, para lo cual se contemplan la instalación de varios componentes conectados en serie entre sí: sistema de adsorción, tren de compresión multifase, sistema de recuperación de calor, dispositivo de control de calidad del biometano, almacenamiento de biometano y dispensación de biometano.

ACCIÓN C3. Puesta en marcha y optimización

El objetivo de esta acción es operar y demostrar la viabilidad del prototipo. Se considerarán 2 iteraciones en la optimización del proceso – gracias al análisis estadístico de los resultados alcanzados en la fase de puesta en marcha y en la de operación.

C3.1 Puesta en marcha y optimización

Esta acción establece como objetivo la puesta en marcha secuencial de la planta demostrativa.

Para ello, en un primer paso se contempla la puesta en operativa del biodigestor considerando el rango mesófilo de operación y un tiempo de retención del sustrato en el digestor previsto, de entre 20 y 30 días con un tiempo de puesta en marcha de 15 días. Durante la puesta en marcha y optimización del proceso se ha previsto la toma de muestras en el digestor, con la finalidad de analizar la deposición de sólidos minerales, inertes para el proceso de digestión, para evitar la presencia o la eliminación de estos en la digestión.

La planta incorporará un sistema de gestión y control, a partir del cual se obtendrán datos relativos al comportamiento del proceso que permitirán el análisis estadístico relacionando volumen, calidad del biogás en función de los parámetros utilizados.

Posteriormente se realiza la puesta en marcha de la fase de *upgrading*, la cual arranca el proceso mediante su inoculación con un consorcio especializado de microalgas alcalófilas y bacterias oxidadoras de H₂S. Para la operación se inyectará un caudal medio de biogás (procedente del biodigestor).

La operación de la balsa de cultivo (*raceway*) y de la columna de absorción, se hará de tal forma que se garantice la producción estable de biometano, con un grado de calidad suficiente para poder ser utilizado como biocombustible en vehículos (norma UNE-EN16726(2016)). Se realizarán ajustes en los caudales de gas y líquido para maximizar la absorción de CO₂ y H₂S. Para eliminar las trazas de H₂S, siloxanos y humedad previamente al sistema de almacenamiento y gasinera se colocarán filtros de zeolita y un refrigerador para condensar la mayor parte del H₂O por salto térmico. El afino, almacenamiento y gasinera iniciará la puesta en marcha disponiendo del biometano. Los procesos aquí son eminentemente físicos. Será necesario considerar ensayos de optimización del proceso de adsorción física – columnas de adsorción de H₂S y vapor de agua, como el uso de zeolitas, carbones activos, óxidos de hierro y sílica gel.

C3.2 Análisis estadístico de los resultados en los diferentes procesos del prototipo

Con la centralización de la información – en un único sistema de control de procesos – se podrá tener una gran información que deberá ser procesada mediante un análisis estadístico. Se utilizarán herramientas de optimización para encontrar las condiciones de operación que tengan el mejor compromiso técnico/económico.

ACCIÓN C4. Plan de negocio. Estrategia de replicabilidad y transferencia de resultados

El objetivo de esta actividad es el de evaluar la replicabilidad del modelo en otras granjas, con características diferentes a la seleccionada para el desarrollo del proyecto, así como en otras ubicaciones con condiciones ambientales diferentes. La dificultad radica en establecer tres modelos de negocio en uno: digestión anaerobia, producción de biogás y suministro de biocombustible (biometano). Teniendo en cuenta la heterogeneidad en los tamaños de las granjas y operaciones, la estrategia es que los resultados puedan establecer diferentes soluciones aplicables a la heterogeneidad del mercado potencial.

ACCIÓN D.1. Monitorización del proyecto

En esta acción se evalúa el desarrollo del proyecto, diferenciando tres secciones principales: ambiental, económica, modelo de negocio y finalmente el aspecto social y de difusión de resultados. Para poder evaluar el impacto del proyecto, se tomará la línea base de los indicadores de interés.

ACCIÓN D.2. Indicadores de desarrollo

En esta acción se lleva a cabo el seguimiento de los indicadores (KPIs) identificados en la fase de redacción del proyecto. Para ello, esta actividad se alimentará de los resultados alcanzados en las acciones C3, C4 y D.1.

ACCIÓN E.1. Comunicación

El objetivo de esta acción es asegurar la diseminación del proyecto en la sociedad en general, los diferentes grupos de interés identificados, tanto a nivel local, estatal y de la Comunidad Europea. La principal misión de esta tarea es el suministro de información relevante del proyecto al público desde el inicio del proyecto.

ACCIÓN F.1. Gestión del Proyecto

Acción horizontal durante todo el proyecto, la cual engloba la coordinación del proyecto tanto a escala interna como externa.

RESULTADOS

El proyecto LIFE SMART AgroMobility tiene una duración de XX meses, teniendo comienzo en septiembre de 2021 y estando previsto su finalización en septiembre de 2023. En este apartado se procederá a describir los principales avances logrados hasta el momento actual, siguiendo el proyecto su desarrollo durante los próximos doce meses.

El proyecto se encuentra actualmente en la fase de puesta en marcha y operación de equipos, habiendo finalizado ya las actividades de diseño y construcción de la planta. A continuación, se detallan los resultados alcanzados durante la primera fase del proyecto.

Acción C1. Ingeniería básica y de detalle del prototipo

Emplazamiento

El proyecto LIFE SMART AgroMobility se llevará a cabo en una explotación ganadera con 3.450 cabezas de cerdos ubicada en el pueblo de Sauquillo de Boñices, perteneciente al municipio de Tejado, en la comarca de Campo de Gómara, Soria.

El centro de producción porcina se encuentra al norte del casco urbano de Sauquillo de Boñices, a 1,2 km del mismo, y al sureste de la capital de Soria, la cual se sitúa a unos 30,6 km de distancia.





Figura 1. Diagrama de bloques del proceso de generación de biometano. (Consortio SMART AgroMobility)

Diagrama de proceso

En la siguientes Figura 2 y Figura 3 se muestra de forma esquemática los procesos desarrollados en la planta experimental.

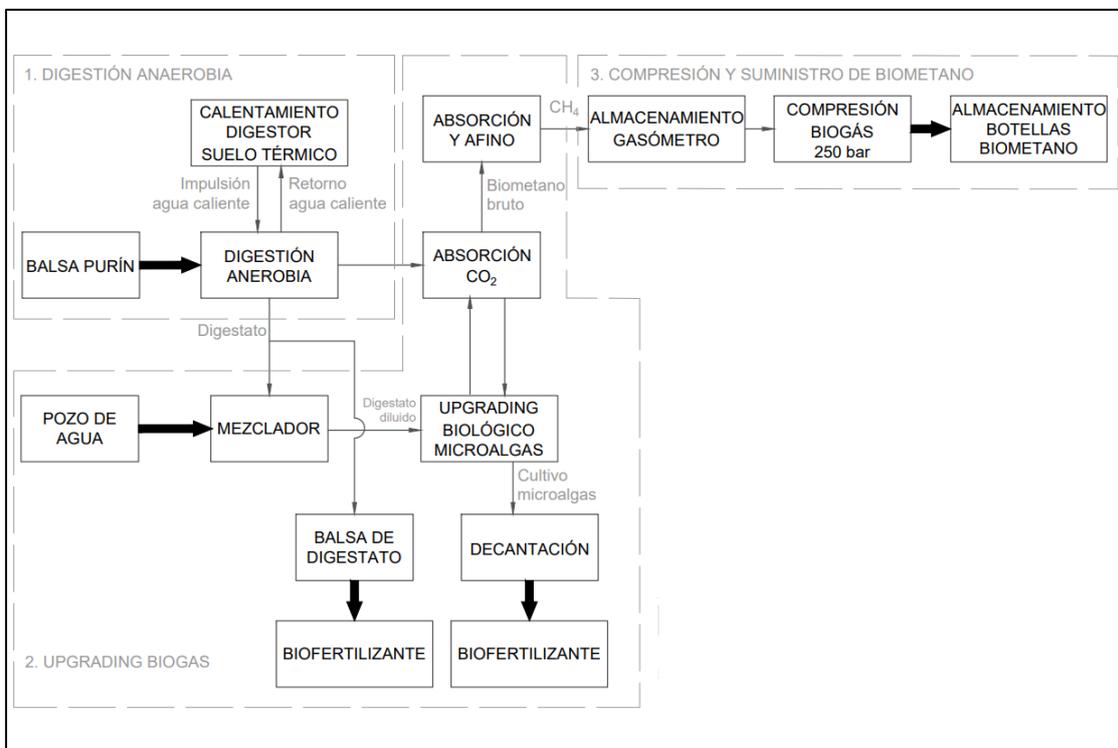


Figura 2. Diagrama de bloques del proceso de generación de biometano. (Consortio SMART AgroMobility)

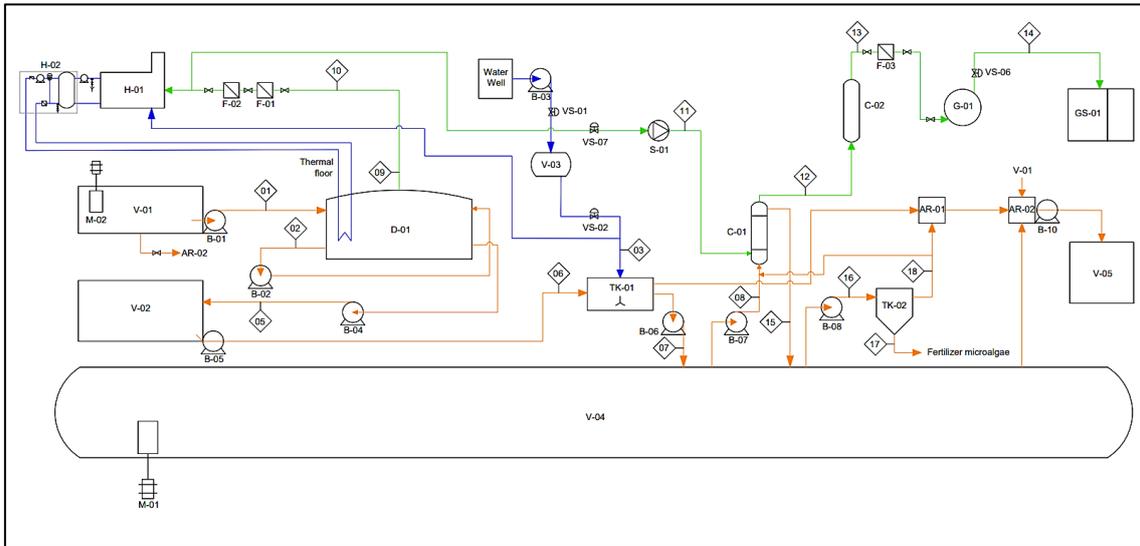


Figura 3. Diagrama del proceso de generación de biometano

Descripción del proceso productivo

Digestión anaerobia y producción de biogás

En esta acción se ha llevado a realizado el diseño de la fase de producción de biogás, basada en el uso de un biodigestor tipo bolsa de bajo coste, sobre el cual se han previsto una serie de mejoras para optimizar la producción de biogás.

Frente a los modelos de producción de biogás de bajo coste, los cuales son instalados en zonas geográficas con climas templados, en este proyecto se ha asumido el reto de desarrollar un nuevo modelo de biodigestión de bajo coste, válido para su operación en climas fríos, manteniendo la capacidad de producción de biogás a lo largo del año. Para ello, se ha optado por incorporar un sistema de calefacción consistente en un circuito de suelo radiante, situado en la base del digestor. Para evitar el deterioro del material de fabricación del digestor, el sistema de calefacción incorpora una consigna que limita la temperatura del agua de calefacción. Por otra parte, se ha incorporado un sistema de recirculación de purín en el interior del digestor, de forma que se minimice la aparición de puntos ciegos y se evite la sedimentación del material de digestión.

El biogás bruto obtenido en el digestor se caracteriza por su contenido en impurezas que, de no ser retiradas, podrían ocasionar daños en la caldera por su elevado potencial corrosivo. El biogás contiene sulfuro de hidrógeno (H_2S), compuestos orgánicos volátiles (COVs), humedad, siloxanos, espumas y partículas en suspensión que tienen que reducirse o eliminarse para evitar daños y para garantizar una larga vida útil de los equipos. Para evitar este problema, se ha instalado en el circuito de alimentación de biogás a la caldera dos filtros (silica gel y carbón activo) para reducir la humedad del gas, así como para retirar de la corriente las impurezas mencionadas.

- Sustrato disponible

El diseño de la planta de producción de biogás se ha realizado en base al volumen de sustratos disponibles (purines del porcino), los cuales actúan como materia prima a utilizar en el proceso de biodigestión anaerobia.

En el siguiente cuadro se muestra la cantidad de sustrato, calculado en base a la capacidad de la granja y la producción anual unitaria de purines por animal.

Cuadro 2. Cálculo disponibilidad sustrato

Disponibilidad de sustrato		
Animales (cerdos)	3.450	cerdos cebo
Producción purín	0,0045	m ³ /animal d
Caudal purín	5.667	m ³ /año

Fuente: Consorcio LIFE SMART AgroMobility

- Producción de biogás

Teniendo en cuenta la disponibilidad de sustrato y la producción de biogás calculada a partir del análisis del purín de la explotación ganadera en la cual se desarrollará este proyecto, en base a los sólidos totales y volátiles, se realiza el cálculo teórico de la producción de biogás anual, según se muestra en el cuadro

Cuadro 3. Cálculo producción de biogás

Producción de biogás		
Sustrato	Volumen sustrato (m ³ /d)	Volumen biogás (m ³ /d)
Animales (cerdos)	3.450	cerdos cebo
Producción purín	0,0045	m ³ /animal d
Caudal purín	5.667	m ³ /año

Fuente: Consorcio LIFE SMART AgroMobility

- Producción de digestato

Del proceso de digestión anaerobia se obtiene biogás y un efluente líquido, digestato, cuya composición ha sido determinada a partir del análisis experimental del purín de la explotación ganadera:

Cuadro 4. Cálculo producción de digestato

Cálculo de producción de digestato		
Sólidos Totales, ST	2,0	%
Sólidos Volátiles, SV	45,0	%
Densidad	2,95	Kg/m ³

Fuente: Consorcio LIFE SMART AgroMobility

- Producción de biometano

A partir de la producción de biogás del digestor y el rendimiento del proceso de *upgrading*, se realiza el cálculo teórico de la producción de biometano anual que será comprimido en la gasinera para el suministro a vehículos, según se muestra en el cuadro XX

Cuadro 5. Cálculo producción de biometano

Cálculo de producción de digestato		
Caudal biogás	25.290	m ³ /año
Caudal biometano	7.943	m ³ /año
Caudal biometano 250 bar	34,53	m ³ /año

Fuente: Consorcio LIFE SMART AgroMobility

Upgrading y producción de biometano

El biogás generado en el biodigestor es conducido hasta el módulo de *upgrading*, en el cual el biogás se transforma a biometano. La función del proceso de *upgrading* es retirar de la mezcla de biogás la mayor parte del CO₂ contenido en el mismo (composición de biogás: 60% CH₄ y 40% CO₂), así como otros contaminantes traza (compuestos de azufre).

La etapa de *upgrading*, se basa en dos procesos: el primero de ellos consiste en el paso de la corriente de biogás por un cultivo de microalgas alojadas en una balsa tipo *raceway* (con unas dimensiones de 11 x 130 m) y una segunda etapa en la cual el biogás una vez ha pasado por el cultivo de microalgas, es burbujeado en una columna de absorción de biogás.

En el fotobiorreactor de microalgas, éstas demandarán gran parte del CO₂ contenido en el biogás para realizar la fotosíntesis. Con el fin de favorecer el crecimiento de las microalgas, se empleará una fracción del digestato resultante del proceso de biodigestión, siendo éste utilizado como fuente de nitrógeno y fósforo.

Posteriormente, el biogás tratado en el cultivo de microalgas es introducido en la columna de absorción, la cual contiene una mezcla de microalgas y bacterias que se encargan de captar la fracción remanente de CO₂ contenida en el biogás.

Como resultado del proceso de *upgrading* del biogás se obtiene biometano de alta pureza, con una concentración aproximada de 95 %. Simultáneamente, se eliminará también en la columna de absorción el H₂S presente en el biogás ya que éste se solubiliza fácilmente y se transforma biológicamente a SO₄²⁻ en condiciones aerobias.

Compresión y suministro de biometano a vehículos

Finalizado el proceso de *upgrading*, el biometano será sometido a un proceso de compresión en el que se eleva la presión del gas hasta 250 bar para su posterior almacenamiento. Alcanzada la presión necesaria, el biometano será almacenado en un rack de botellas, desde las cuales el biogás será suministrado a vehículos mediante surtidor de gas. La instalación de suministro se encontrará ubicada en la propia parcela de la explotación ganadera, junto al resto de equipos que componen la planta piloto.

Acción C2. Construcción del prototipo

Concluida la acción de ingeniería básica y de detalle de la planta experimental se ha procedido a la construcción de la infraestructura necesaria y al montaje del equipamiento.

Ubicación y distribución de equipos

A continuación, en la Figura se muestra una imagen aérea de la granja, sobre la que se identifican los componentes de la planta experimental.

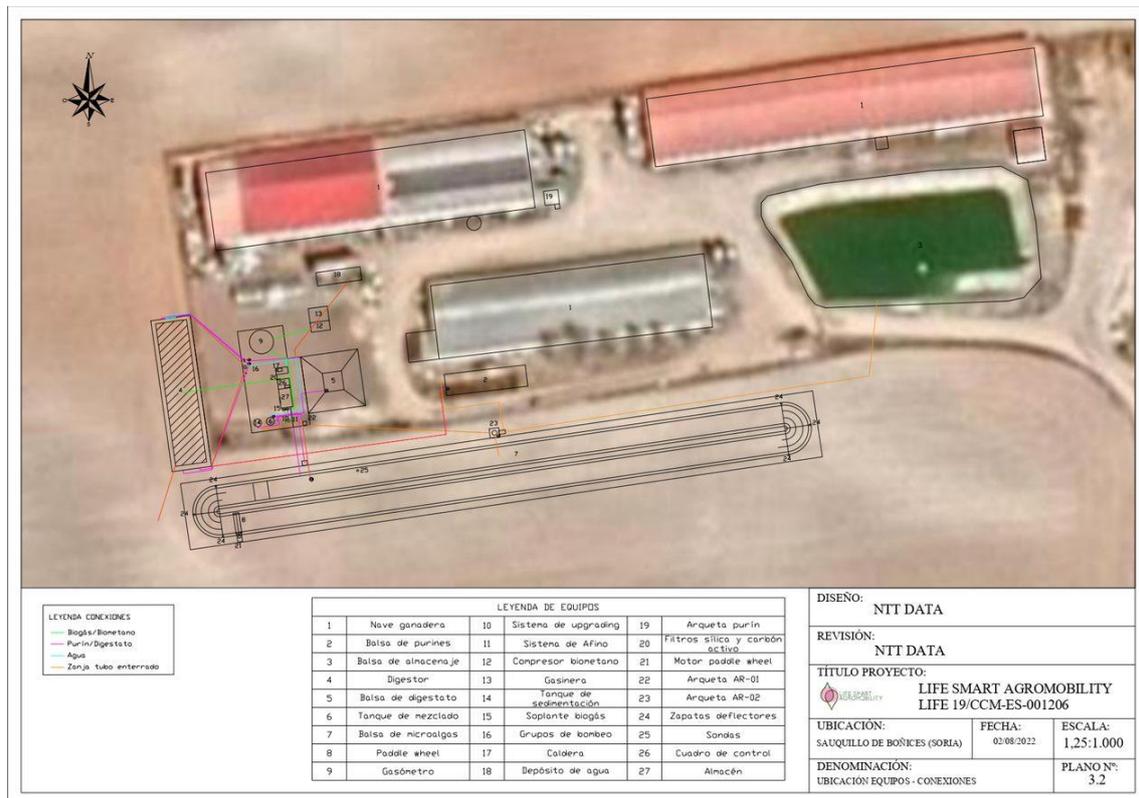


Figura 4. Plano de distribución de equipos de proceso

Fase 1. Movimiento de tierras y obra civil

Para el desarrollo de la planta, se han realizado una serie de actuaciones encaminadas a la preparación del terreno e infraestructuras previas necesarias para la instalación de los diferentes equipos que compondrán la misma.



Figura 5. Inicio de obra civil y Preparación de terreno para movimiento de tierras



Figura 6. Excavación y vallado balsa de digestato



Figura 7. Zanja balsa de upgrading



Figura 8. Zanja digestor anaerobio y gutinado



Figura 9. Zanja digestor anaerobio y gutinado

Fase 2. Módulo de digestión anaerobia

El proceso en la planta da comienzo con la digestión anaerobia del purín procedente de las naves de cría almacenado en las fosas preexistentes en la granja. Este proceso tiene lugar en el biodigestor en el cual se produce la fermentación de la materia orgánica contenida en el sustrato en ausencia de oxígeno, dando lugar a una corriente de biogás y un subproducto semilíquido (digestato).

Para hacer llegar los purines desde las fosas hasta el biodigestor, así como para conducir el digestato generado como subproducto y para la recirculación de éste en el biodigestor, se han instalado diferentes circuitos hidráulicos a través de los cuales son impulsados los purines mediante grupos de bombeo alimentados eléctricamente.

Para mantener estable y alcanzar el rendimiento de proceso adecuado, se ha instalado un sistema de calefacción por suelo radiante alimentado por una caldera de biogás.



Figura 10. Agitador de purines en balsa de almacenamiento preexistente



Figura 11. Suelo radiante digester anaerobio. Instalación y comprobación ausencia de fugas



Figura 12. Instalación digester anaerobio: recubrimiento aislante textil sobre suelo radiante (izquierda) e instalación digester tipo bolsa (derecha)



Figura 13. Conexiones biogás bruto digester, instalación de filtros y alimentación gas caldera



Figura 14. Caldera biogás P: 60 kW

Fase 3. Módulo de *upgrading* biológico

El proceso de *upgrading* de biogás se compone, de un sistema de *upgrading* biológico, consistente en un cultivo de microalgas, cultivadas en un biorreactor tipo *raceway*. Este tipo de biorreactores consisten en una laguna en la cual el cultivo se encuentra en continua agitación mecánica mediante un sistema de palas (*paddle wheel*), para cuyo movimiento se produce por un motor eléctrico.

Adicionalmente, posterior al cultivo de microalgas, el módulo de *upgrading* consta de una columna de absorción (retirada de trazas de gases), la cual consiste en un sistema de burbujeo vertical, alimentado por una soplante de gas y un sistema de afino.

Para la transferencia de los diferentes fluidos (líquidos y gases), que son tratados en el proceso de *upgrading*, se han instalado diferentes conducciones y equipos de impulsión (bombas y soplantes).



Figura 15. Sedimentador (1-izqda) y tanque de mezcla (1-dcha) con bomba



Figura 16. Columna de absorción, conexiones y toma de muestras



Figura 17. Instalación paddle Wheel

Fase 4. Planta de afino, almacenamiento y gasinera

El biometano a su salida del proceso de *upgrading*, se almacena previamente a su dispensación, en el gasómetro tipo depósito situado en la zona norte de la loseta de equipos principales de proceso.

El biometano almacenado en el gasómetro se comprime a 250 bar y se almacena en botellas hasta su suministro a vehículos para lo cual se ha instalado un dispensador de gas junto al módulo de compresión.



Figura 18. Compresor y dispensador de biometano (gasinera)

BIBLIOGRAFIA

- [1] Steinfeld H., Gerber P., Wassenaar T., Castel V., Rosales M., De Haan C. (2009). La larga sombra del ganado: Problemas ambientales y opciones. Rome: FAO
- [2] Erisman J. W., Sutton M. A., Galloway J., Klimont Z., Winiwarter W. (2008). How a century of ammonia synthesis changed the world. Nature Geoscience.