UNIVERSIDAD DE CANTABRIA
ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA
DE MINAS Y ENERGÍA

Trabajo Fin de Grado

ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA IMPLANTACIÓN DE UNA PLANTA DE BIOGÁS EN CANTABRIA

FEASIBILITY STUDY FOR IMPLANTATION OF A BIOGAS PLANT IN CANTABRIA

Para acceder al título de:

GRADO EN INGENIERÍA DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS

Autor: Unai González Borrego

Director: Juan Carcedo Haya

Convocatoria: febrero 2022

Unai González Borrego

Agradecimientos

Quiero dedicar este trabajo a toda la gente que me ha apoyado o ayudado de alguna manera durante todo éste camino hasta conseguir mi propósito.

A mis padres y mi hermano en especial, por haberme permitido estudiar y haberme apoyado en todo momento, haciendo un gran esfuerzo para que nunca me faltase nada y animándome cuando las cosas se ponían complicadas. Gracias por hacerme el camino más fácil y haber confiado en mí en todo momento.

A Montse, mi novia, por haberme apoyado en todo momento y creer en mi, aguantado los momentos de bajón y animándome a tirar para adelante con fuerza y motivación.

A mis compañeros de la universidad, con los que he compartido muchos momentos buenos y duros durante estos años y en los que nos hemos apoyado como un equipo.

A mis amigos, por su apoyo y todas esas charlas con una cerveza que arreglan el mundo.

A Jose Carlos y Susana, de Logos Energía, por su confianza y apoyo en mis inicios en el mundo laboral, y por su ayuda en partes de este proyecto.

A Carlos Rico, profesor de la Universidad de Cantabria, por compartir su experiencia y por su ayuda a la hora de resolver dudas planteadas en apartados de este proyecto.

A mi tutor Juan Carcedo, por permitirme realizar este trabajo con el tema que yo quería elegir, y por aconsejarme durante el desarrollo de éste.

Gracias.

RESUMEN

En el presente trabajo se lleva a cabo un estudio de viabilidad para la implantación de una planta de biogás con el objetivo de inyectar el biometano obtenido a la red de gas natural, la materia prima utilizada para la generación de biogás será purines de ganado vacuno y residuos agrícolas, en este caso maíz y pasto ensilados.

Se ha escogido una localización en la cual tengamos fuentes de materia prima cercanas y, además, la localización de un gasoducto cercano al que poder inyectar el gas generado tras el proceso.

En el presente proyecto se ha realizado un estudio sobre las características del biogás, las distintas tecnologías para producirlos, y la situación a nivel nacional y mundial del biogás.

Se espera que la planta de biogás cuente con el apoyo de la sociedad y de las autoridades debido a los beneficios que aportará a la zona en la cual se localice el proyecto, ya que mejorará la calidad de vida de los vecinos y dará salida a los residuos generados por ganaderos y agricultores que, de otra forma, no serían reutilizados.

Se estima que la planta, que cuenta con dos digestores de unos 3000 m^3 cada uno, genere una cantidad de 5.781 m^3 de biometano al día, el cual contará ya con las características necesarias para ser inyectado a la red de gas natural tras haber pasado el proceso de upgrading. Además, se generarán 82 m^3/día de digestato, el cual también proporcionará un beneficio económico con su venta, y ha de ser tenido en cuenta para los estudios de viabilidad económica.

La inversión inicial para llevar a cabo el proyecto asciende a la cantidad de CINCO MILLONES TRESCIENTOS CUARENTA Y CINCO MIL EUROS (5.345.000 €).

En el estudio de viabilidad se tiene en cuenta una ayuda en la inversión inicial por parte del gobierno del 35%, debido a que el proyecto se encuentra dentro de los marcos europeos asociados a la gestión de residuos, obtención de energía de origen renovable, y transporte o distribución de fertilizantes procedentes de materia orgánica.

Palabras Clave: planta de biogás, biogás, digestión anaerobia, digestor, energía, renovable, biometano, residuos, upgrading biogás, purificación biogás.

ABSTRACT

In this project, is carried out a feasibility study for the implementation of a biogas plant with the aim of injecting the biomethane obtained to the natural gas grid, the raw material used for the generation of biogas will be cattle slurry and agricultural residues, in this case corn and grass silage.

The chosen location has sources of raw material nearby, as well as the location of a gas pipeline where we can inject the generated gas after the process.

In this project, a study has been carried out on the characteristics of biogas, the different technologies to produce them, and the national and global situation of biogas.

The biogas plant is expected to have the support of society and the authorities due to the benefits it will bring to the area in which the project is located, it will improve the quality of life of the residents and will make use of waste generated by ranchers and farmers that would not otherwise be reused.

It is estimated that the plant, which has two digesters of about 3,000 m^3 each one, will generate a quantity of 5,781 m^3 of biomethane per day, which will already have the necessary characteristics to be injected into the natural gas network after having passed the upgrade process. In addition, 82 m^3/day of digestate will be generated, which will also provide an economic benefit with its sale, and must be taken into account for economic feasibility studies.

The initial investment to carry out the project amounts to FIVE MILLION THREE HUNDRED AND FORTY-FIVE THOUSAND EUROS (€ 5,345,000).

In the feasibility study, an initial investment aid from the government of 35% is taken into account, because the project is within the European frameworks associated with waste management, obtaining energy from renewable sources, and transport or distribution of fertilizers from organic matter.

Keywords: biogas plant, biogas, anaerobic digestion, digester, energy, renewable, biomethane, waste, biogas upgrading, biogas purification.

Índice

1. MEMORIA
- 1.1. Memoria descriptiva
  - 1.1.1. Introducción y objeto del proyecto (página 9)
  - 1.1.2. Emplazamiento (página 10)
  - 1.1.3. Características del biogás (página 11)
  - 1.1.4. Alternativas y matriz de decisión (página 11)
  - 1.1.5. Alcance del proyecto (página 14)
  - 1.1.6. Estado del arte (página 15)
  - 1.1.7. Ventajas e inconvenientes del biogás (página 27)
  - 1.1.8. Beneficios sociales de una planta de biogás (página 28)
  - 1.1.9. Normativa y legislación (página 29)
  - 1.1.10. Elementos de la instalación (página 32)
  - 1.1.11. Modelo de planta de biogás (página 37)
- 1.2. Anejos a la memoria
  - 1.2.1. Dimensionamiento (página 38)
  - 1.2.2. Cálculos (página 39)
  - 1.2.3. Consideraciones sobre la carga del digestor (página 45)

2. ESTUDIO ECONÓMICO - FINANCIERO
- 2.1. Flujos de caja (página 46)
- 2.2. Cálculo del VAN (página 47)
- 2.3. Cálculo de la TIR (página 48)

3. POSIBLE IMPLANTACIÓN DE MODELO DE NEGOCIO
- 3.1. Planta de cogeneración (página 49)
- 3.2. Secado del digestato (página 49)
- 3.3. Pretratamiento de los residuos para mejorar la digestión anaerobia (página 50)

4. BIBLIOGRAFÍA

ÍNDICE DE FIGURAS

- **Figura 1.1. Localización de la planta** (página 10)
- **Figura 1.2. Usos del biogás** (página 13)
- **Figura 1.3. Fases de la digestión anaerobia y microorganismos** (página 16)
- **Figura 1.4. Dependencia del pH en función de la actividad metanogénica** (página 18)
- **Figura 1.5. Relación C/N de algunos residuos disponibles en el medio rural** (página 19)
- **Figura 1.6. Esquema planta de biogás** (página 21)
- **Figura 1.7. Esquema biodigestor de flujo pistón** (página 22)
- **Figura 1.8. Biodigestor tipo chino** (página 22)
- **Figura 1.9. Biodigestor tipo indio** (página 23)
- **Figura 1.10. Producción de biogás por país y materia prima utilizada en 2018** (página 26)
- **Figura 1.11. Ejemplo de gasómetro sobre digestor** (página 34)
- **Figura 1.12. Ejemplo de gasómetro sobre losa de hormigón** (página 35)
- **Figura 1.13. Modelo planta de biogás** (página 37)

ÍNDICE DE TABLAS

- **Tabla 1.1. Matriz de decisión** (página 14)
- **Tabla 1.2. Rangos de temperatura y tiempos de fermentación** (página 18)
- **Tabla 1.3. Producción en 2019 planta Valdemingómez** (página 25)
- **Tabla 1.4. Calidad del gas procedente de fuentes no convencionales** (página 31)
- **Tabla 1.5. Censo de ganado por especie** (página 39)
- **Tabla 1.6. Número de explotaciones y reses en Valdáliga y alrededores** (página 40)
- **Tabla 1.7. Producción de metano de distintos sustratos** (página 41)
- **Tabla 1.8. Cantidad de metano producido diariamente** (página 41)
- **Tabla 1.9. Desglose coste de inversión** (página 44)
- **Tabla 1.10. Desglose coste de explotación** (página 45)
- **Tabla 2.1. Ingresos por producto** (página 46)
- **Tabla 2.2. Flujos de caja** (página 47)

1. MEMORIA

1.1. MEMORIA DESCRIPTIVA

1.1.1. Introducción y objeto del proyecto

El desarrollo del biogás ha sido una de las asignaturas pendientes en nuestro país. España consta con unas 200 instalaciones de biogás, ocupando el puesto número 14 en la UE en número de plantas de biogás con una producción energética de 2,74 TWh, mientras que, en volumen de biogás producido ocupa el puesto número 8. [1,2]

El combustible utilizado en las plantas de biogás españolas procede de vertederos de RSU o de plantas de depuración de aguas residuales, mientras que a nivel europeo 2/3 del biogás producido proviene de residuos agrícolas, ganaderos o agroindustriales.

España, pese a ser la tercera potencia ganadera de Europa y la segunda en extensión agrícola, ha desarrollado muy poco el potencial que ofrecen los residuos generados por la ganadería y la agricultura para la obtención de biogás, aunque la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, la iniciativa del gobierno a legislar a favor de los gases de origen renovable y la economía circular generada en las zonas en las que se sitúan las centrales pueden suponer un fuerte impulso en el desarrollo de las plantas de biogás.

Cantabria es una comunidad ligada a la ganadería y la agricultura, formada por pueblos en los cuales siempre se ha llevado un estilo de vida en torno a estas actividades, en las que tradicionalmente se ha tratado de aprovechar al máximo los recursos que ofrece su suelo, cuenta con un censo de 301.821 cabezas de ganado vacuno [3], una de las principales provincias en censo vacuno, por lo que parece un lugar adecuado para un proyecto de biometano basado principalmente en residuos ganaderos al que le acompañarán diversos cosustratos procedentes de la agricultura e industria agroalimentaria.

El presente trabajo de fin de grado muestra un estudio de viabilidad para la implantación de una planta de biogás en Cantabria, con el objetivo principal de inyectar el gas producido en red y obtener beneficios de los productos generados en el proceso, ya que una adecuada gestión del digestato, además de reducir los impactos sobre suelo, agua y atmósfera causados por el estiércol, puede redundar en un menor consumo de fertilizantes a partir de combustibles fósiles, con lo que un proyecto de estas características, es un proyecto ligado a la economía circular con muchos aspectos positivos y que reportará beneficios a la ganadería y agricultura de la zona.

Además del componente energético, la biodigestión de los estiércoles tiene un efecto muy positivo sobre la reducción de gases de efecto invernadero, con lo que el proyecto

tiene la doble componente energética y medioambiental, adecuándose a las expectativas propuestas por el Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico en el proyecto de Ley de Cambio Climático y Transición Energética.

1.1.2. Emplazamiento

La planta de biogás en la cual se basa el proyecto estará situada en el municipio de Valdáliga, perteneciente a la comunidad autónoma de Cantabria. Este municipio cuenta con una extensión de unos 97,76 Km^2 [4], con un terreno apropiado para ubicar la planta y con materia prima cercana, ya que en la zona hay gran cantidad de ganadería y agricultura.

Además, la presencia de un gasoducto que pasa por la zona facilita la conexión de dicha planta para inyectar el gas generado a la red [5], tal y como se pretende llevar a cabo en el presente proyecto.

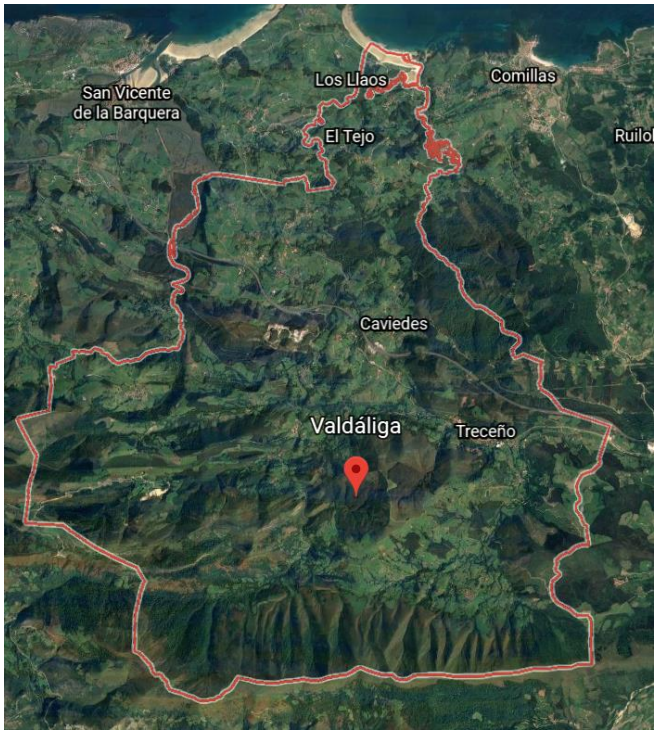

Figura 1.1. Localización de la planta *(Fuente https://earth.google.com/)*

1.1.3. Características del Biogás

El Biogás es un combustible formado tras la descomposición de la materia orgánica (biomasa) y está formado por distintos compuestos, siendo el más abundante el metano, CH_4, el cual representa entre un 50 y un 75% del gas, siendo este el compuesto que más valor energético aporta. De la cantidad restante de gas, casi todo es CO_2 (entre el 25% y el 50%), aunque también puede haber impurezas, las cuales se deben retirar dependiendo del uso que se dé al gas. [6]

Para la producción del biogás se lleva a cabo un proceso denominado digestión anaeróbica, el cual es producido por bacterias en ausencia de oxígeno.

El "combustible" utilizado en estas plantas puede proceder de distintas fuentes de biomasa, como son los lodos procedentes de plantas de tratamiento de aguas servidas (PTAS); residuos sólidos urbanos (RSU), purines, restos de actividad agrícola o industrial, etc. A dichos materiales se les llama sustrato orgánico.

El principal propósito de este proceso es la obtención de biogás para utilizarlo como combustible, inyectarlo en redes de gas natural, etc. Aunque de él se pueden obtener distintos subproductos los cuales pueden generar también beneficio, es el caso del digestato, el cual es un lodo creado al terminar el proceso, que posee unas características las cuales hacen que sea empleado como fertilizante de gran calidad y con unas propiedades más adecuadas para evitar emisiones nocivas para el medio ambiente. [7]

Aunque la producción de biogás no está aún muy extendida a escala industrial en España, es una tecnología con gran potencial y que aporta soluciones a la gestión de residuos y un amplio abanico de beneficios a la sociedad en muchos aspectos diferentes.

1.1.4. Alternativas y matriz de decisión

Las plantas de biogás pueden ser utilizadas para producir un gas de origen renovable al cual puede darse distintos usos.

Es importante a la hora de elaborar el proyecto, conocer cuál de estos usos puede ser el más adecuado para la zona en la cual se establecerá la planta, ya que a partir de estos datos se puede establecer más fácilmente el alcance del proyecto, el impacto que éste supondrá en la zona, los beneficios económicos y sociales.

En este estudio se comparará el uso térmico directo en una caldera, uso como combustible, generación de energía eléctrica y térmica en una turbina, la inyección a red y la producción de hidrógeno.

Se resume, a continuación, cada uno de los distintos usos mencionados para el biogás junto con sus características y procedimientos necesarios, con el fin de contar con la información necesaria para la toma de decisión.

Uso térmico directo en una caldera: Si nos centramos en el uso directo del biogás, una opción sería la quema de éste en una caldera adaptada para este tipo de gas, con el objetivo de calentar agua y utilizarlo mediante sistemas como suelo radiante o radiadores convencionales. Este uso es idóneo para utilizar en zonas en las cuales exista una gran densidad de población y edificios que necesiten agua caliente para sus procesos, como por ejemplo fábricas, para procesos como secar madera o productos de cosecha. [8]

No obstante, se debe tener en cuenta que el proceso de generación de biogás es autosuficiente en términos de producción de calor para dicho proceso, es decir, parte del calor generado en la quema del gas se utiliza para llevar a cabo el proceso en los fermentadores, en los cuales se crea el biogás y que necesitan energía térmica para mantener una temperatura adecuada y constante.

Uso como combustible: Para poder utilizar el biogás como combustible para vehículos es necesario purificarlo para obtener así biometano. El uso de este biometano supone beneficios para la movilidad, ya que reduce las emisiones de gases de efecto invernadero, dichas emisiones suponen un 25% de las emisiones totales en España.

Además, el uso de este biometano puede llevarse a cabo de inmediato, ya que los vehículos que lo utilizan ya existen y se encuentran en el mercado, por lo que no sería necesario crear dicha tecnología desde cero, y las políticas de emisiones de vehículos son cada vez más abundantes, por lo que pueden beneficiar la venta de éste producto.

Generación de energía eléctrica y térmica en una turbina: Para que el biogás generado pueda ser usado en una planta de cogeneración y producir así energía eléctrica y térmica debe ser tratado de manera oportuna para conseguir una mejora en la eficiencia del proceso. Para darle este uso se debe acoplar un motor de combustión interna a la planta, con una potencia adecuada a las características de producción de la planta, este motor alimentado por el biogás estará unido a un generador eléctrico. [9]

De esta manera, el generador proporcionará energía eléctrica que puede ser utilizada en la misma planta de biogás o vertida a red, y se generará una energía térmica que será utilizada en el proceso de obtención del biogás o incluso utilizada en otros ámbitos cercanos.

Inyección a la red: Para poder inyectar a la red el biogás obtenido debe pasar una serie de tratamientos, conocido como "upgrading" que le confieran unas propiedades parecidas a las del gas natural, el gas de origen renovable obtenido a partir de este proceso de purificación del biogás se le conoce como biometano.

Además, para poder inyectar este biogás a la red, se debe cumplir una normativa de calidad y pasar una serie de controles que certifiquen que el gas cumple con las especificaciones requeridas y se puede inyectar de manera segura.

Producción de hidrógeno: La producción de hidrógeno se encuentra actualmente en auge y gana cada vez más potencial como solución de energía limpia. Para poder producir hidrógeno a partir de biogás primero debemos obtener biometano mediante el proceso de "upgrading" para, posteriormente, poder realizar el reformado de éste y obtener así el hidrógeno.

Este hidrógeno producido puede utilizarse como combustible para vehículos, aunque esta tecnología está aún en desarrollo y evoluciona poco a poco.

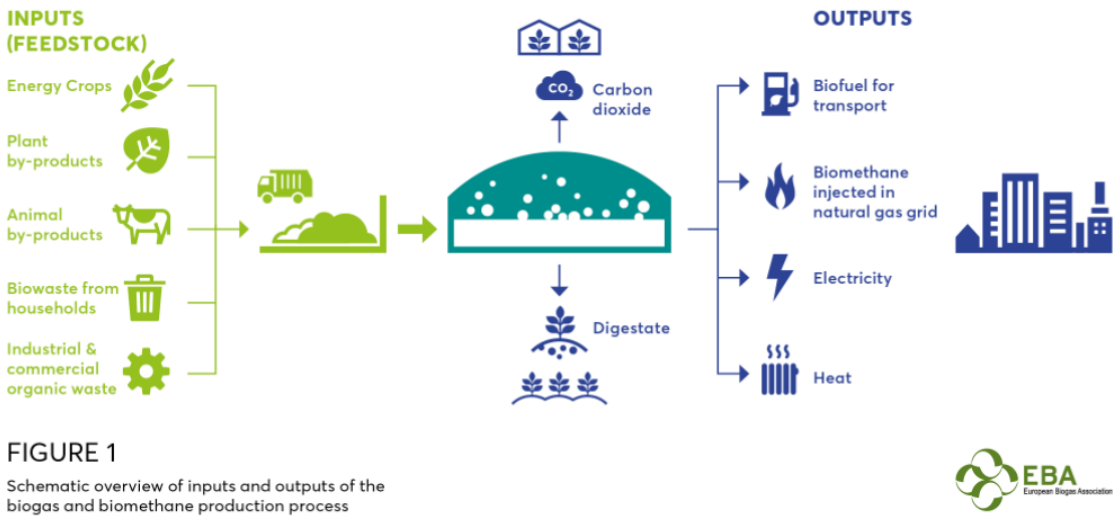

Figura 1.2. Usos del biogás *(Fuente: https://www.europeanbiogas.eu/about-biogas-and-biomethane/)*

Una vez se conocen las principales características de cada uso posible del biogás, seleccionaremos mediante una matriz de decisión la opción más conveniente.

Esta matriz ordena los distintos usos en función de cuál de ellos cumple mejor con los aspectos que se han tenido en cuenta para su decisión otorgando una numeración de 1 a 5, siendo opción que tenga el número 5 la que mejor cumpla con la característica a estudiar. La opción que obtenga la mayor puntuación será la elegida.

Los aspectos a tener en cuenta han sido, la inversión inicial necesaria para poner en marcha la planta, la utilidad de los productos generados en la planta en la zona en la cual se ubica, el potencial económico de los productos y el interés que genera dicho uso en la actualidad.

Uso/Estudio	Inversión Inicial	Utilidad	Potencial	Actualidad	TOTAL
Inyección red	2	5	5	4	16
Energía E y T	4	4	4	2	14
Térmico	5	3	3	1	12
Combustible	3	2	2	3	10
Hidrógeno	1	1	1	5	8

Tabla 1.1. Matriz de decisión *(elaboración propia)*

Tras estudiar las distintas alternativas, el uso que se dará al gas producido en la central de biogás será inyectar dicho gas a la red, por lo que se realizará un estudio de viabilidad para conocer si el proyecto puede llevarse a cabo en la zona indicada, que cuenta con las características descritas en apartados anteriores.

1.1.5. Alcance del proyecto

En este proyecto se pretende realizar un estudio sobre la viabilidad y beneficios que puede suponer la implantación de una tecnología como el biogás en zonas con gran presencia de ganadería y agricultura.

Desde un punto de vista técnico, los alcances se basan en una estimación de la cantidad de biogás producido dependiendo de las características y dimensiones de la planta, por lo que tras decidir el tipo de tecnología que se llevará a cabo, se determinarán los

elementos necesarios para la elaboración del biogás, la producción de la planta, y un dimensionado de dichas instalaciones.

Desde el punto de vista económico, se realizará un cálculo del coste de los equipos e instalaciones, se estudiarán los costes de explotación y se realizará un plan de viabilidad económica (VAN, TIR), con el fin de conocer los beneficios directos e indirectos que generará la planta.

Además, se realizará un estudio de la normativa actual para poder verter el biogás generado a la red de gas, siguiendo los procedimientos y controles de calidad exigidos por los distintos organismos que regulan dicha actividad tanto a nivel europeo como nacional.

1.1.6. Estado del arte

El aumento de los residuos y las emisiones ha obligado a los gobiernos a adoptar medidas más restrictivas para tratar de paliar el cambio climático y la aparición de enfermedades en la sociedad.

Por estos motivos, es de gran importancia mejorar las tecnologías existentes, innovar, y buscar nuevas soluciones con las que cubrir las demandas actuales de la población, en este caso en el ámbito energético.

Es en este punto donde el biogás aparece como una alternativa sostenible a los gases obtenidos de manera tradicional, pues en su obtención se reducen las emisiones y el aprovechamiento de los residuos hace que sea un proceso mucho más eficiente en este aspecto.

El biogás tiene un origen renovable, pues se obtiene a partir de los residuos generados por la sociedad, ya sean residuos de procedencia ganadera, agrícola e industrial, o residuos urbanos generados en las ciudades y pueblos. Esta materia prima, también conocida como sustratos, es cada vez más abundante debido al aumento de la población y del consumo, lo que da lugar a la generación de un mayor volumen de residuos los cuales presentan un problema a la hora de ser almacenados, por lo que utilizarlos para crear energía a partir del biogás tiene una doble motivación para que proyectos de este tipo sean tenidos en cuenta cada vez más como alternativa a las tecnología tradicionales de generación de energía.

Por otra parte, los productos obtenidos de la generación del biogás no son solo el gas en si o la energía que se pueda generar, si no que existen una serie de subproductos como por ejemplo el digestato, el cual es un lodo que posee unas características que lo hacen de muy buena calidad y que puede utilizarse como fertilizante en agricultura con la ventaja de que mejora las propiedades del suelo y es mucho menos contaminante.

Proceso de obtención del biogás:

El proceso de generación de biogás viene dado por la descomposición anaerobia, es decir, en ausencia de oxígeno, de productos orgánicos los cuales debido a la acción de diferentes microorganismos se transforman en una mezcla de gases, principalmente metano y dióxido de carbono. Esta digestión anaerobia es uno de los procesos más idóneos para la reducción de emisiones de efecto invernadero y para el aprovechamiento energético de residuos.

La digestión anaerobia es un proceso que consta de distintas fases diferenciadas en el proceso de degradación del sustrato, es decir, en el alimento de los microorganismos. Es muy importante para el desarrollo global del proceso, que todas las fases se desarrollen adecuadamente, ya que se trata de un proceso muy sensible y cualquier alteración puede suponer que se creen sustancias u organismos inhibidores o tóxicos los cuales podrían afectar negativamente a la producción de biogás o incluso detener el proceso.

En el siguiente esquema podemos apreciar las distintas fases de la digestión anaerobia y los distintos microorganismos que actúan en cada una de ellas.

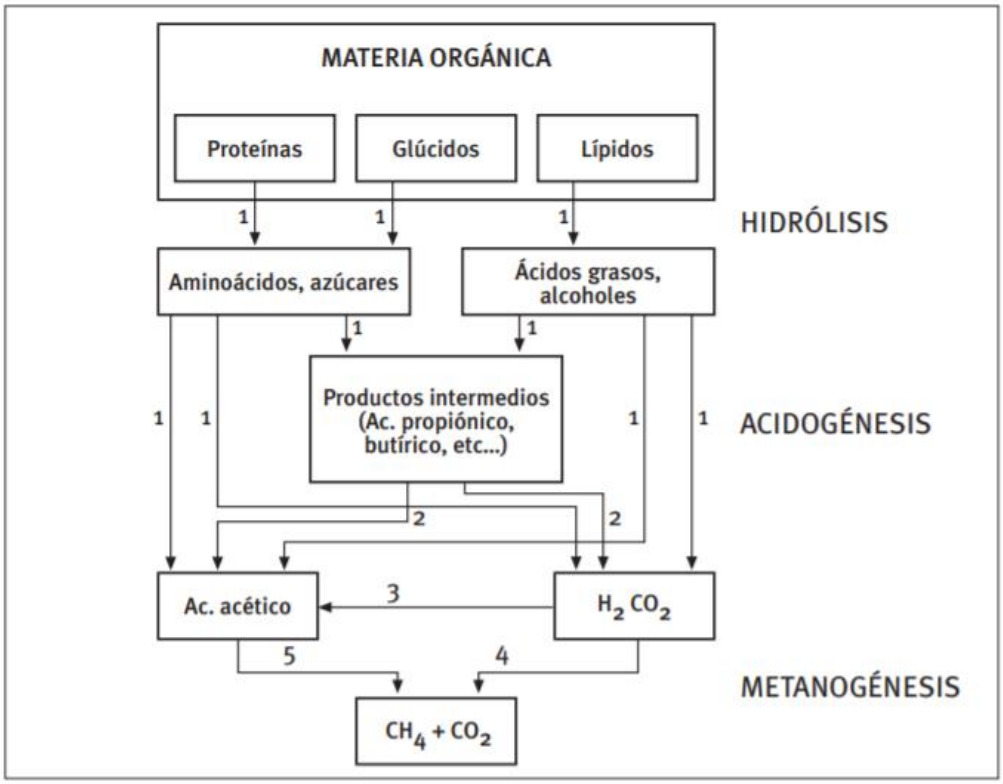

Figura 1.3. Fases de la digestión anaerobia y microorganismos *(Fuente: IDAE)*

- Hidrólisis: Es la primera etapa y en ella la materia orgánica es descompuesta por bacterias hidrolíticas, las cuales se encargan de degradar la materia orgánica que entra el digestor, como son las grasas, proteínas y carbohidratos, y las transforman en productos solubles y fácilmente degradables, como son los aminoácidos, azúcares y alcoholes. En esta etapa ya hay generación de CO_2, y los valores óptimos de pH en esta etapa son entre 5,3 y 6,7. [10]

- Acidogénesis: En esta segunda fase, los productos intermedios se convierten en ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono. Además, en esta etapa se elimina el oxígeno restante en el reactor por medio de bacterias anaerobias facultativas, lo que crea el ambiente anaerobio necesario para el desarrollo de las bacterias. El crecimiento bacteriano en esta etapa es rápido, y se empiezan a formar gases como el ácido sulfhídrico (H_2S), el dióxido de carbono (CO_2) y el amoniaco (NH_3). El valor óptimo de pH en ésta etapa se encuentra entre 5,5 y 6,7. [10]

- Acetogénesis: Es la tercera fase del proceso, y es desarrollada por bacterias acetogénicas las cuales producen ácido acético a partir de la degradación de los ácidos orgánicos (alcoholes, ácidos grasos y compuestos aromáticos). Estas bacterias tienen un crecimiento relativamente lento, entre 1,5 y 4 días. En esta etapa se obtienen productos como el hidrógeno y el dióxido de carbono. [10]

- Metanogénesis: Es la última etapa en la descomposición de materia orgánica en condiciones anaeróbicas, y es realizado por microorganismos llamados metanógenos que utilizan el dióxido de carbono para producir metano. En esta fase se produce casi todo el metano que se desarrolla en el biodigestor, sobre el 90%, y es la fase que condiciona el tiempo de retención de la biomasa en el digestor y la temperatura del proceso debido a que tiene una tasa de crecimiento mucho más lenta que la etapa anterior. Estas bacterias sólo pueden desarrollarse una vez la fermentación de los sustratos primarios esté avanzada y se haya consumido todo el oxígeno disuelto. El valor óptimo de pH en esta etapa se encuentra entre 6,8 y 7,5. [10]

Todo este proceso se lleva a cabo en unos depósitos cerrados herméticamente conocidos como digestores, en los cuales se pueden implantar unas condiciones de temperatura adecuadas siendo una digestión mesofílica si se realiza a temperaturas entre 25ºC y 45ºC, o una descomposición termofílica si se realiza entre 45ºC y 65ºC [11].

En el digestor se realiza también el mezclado de los sustratos, y se realiza todo el proceso durante el tiempo necesario de fermentación para conseguir la máxima generación de biogás a partir de la cantidad de residuos introducidos.

Fermentación	Mínimo	Óptimo	Máximo	Tiempo de fermentación
Psycrophilica	4-10 °C	15-18°C	20-25°C	Sobre 100 días
Mesophilica	15-20 °C	25-35°C	35-45°C	30-60 días
Thermophilica	25-45°C	50-60°C	75-80°C	10-15 días

Tabla 1.2. Rangos de temperatura y tiempos de fermentación *(Fuente: https://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf)*

Además de la temperatura y el tiempo de retención, existen otros parámetros los cuales son muy importantes y se deben tener en cuenta, ya que pueden afectar al proceso o bien servir para controlar que la digestión se está realizando adecuadamente. Estos parámetros son [11]:

- Rangos de pH y alcalinidad: El cambio en los niveles de pH afecta en gran medida al proceso anaerobio debido a que los microorganismos metanogénicos son muy susceptibles a los cambios de pH.
  Además, la variación del pH afecta directamente a la producción de biogás y a la composición de éste, haciendo que el biogás generado sea pobre en metano.
  Es por estos motivos, que el rango de pH para que el proceso se desarrolle de forma adecuada no debe bajar de 6.0, ni exceder de 8.0.
  El pH del proceso es controlado por la alcalinidad de éste, por lo que en ocasiones es necesario aportar al sistema una suplementación de alcalinidad utilizando químicos con el fin de mantener un pH óptimo en el digestor.

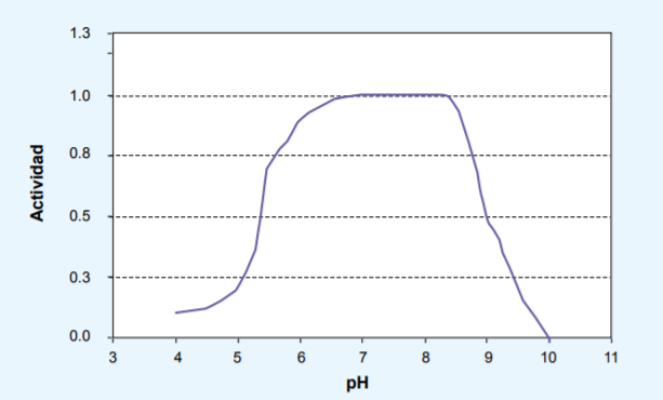

Figura 1.4. Dependencia del pH en función de la actividad metanogénica *(Fuente: https://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf)*

- Relación carbono / nitrógeno: Los organismos metanogénicos se alimentan principalmente de carbono y nitrógeno, consumiendo una cantidad mucho mayor del primero, por lo que la relación óptima entre estos dos elementos es entre 30:1 y 20:1. Fuera de estos rangos, la producción de biogás es más lenta (relaciones superiores a 35:1) o puede inhibirse el proceso debido a la elevada toxicidad (relaciones inferiores a 8:1).

Materiales	% C	% N	C/N
Residuos animales			
Bovinos	30	1.30	25:1
Equinos	40	0.80	50:1
Ovinos	35	1.00	35:1
Porcinos	25	1.50	16:1
Caprinos	40	1.00	40:1
Conejos	35	1.50	23:1
Gallinas	35	1.50	23:1
Patos	38	0.80	47:1
pavos	35	0.70	50:1
Excretas humanas	2.5	0.85	3:1
Residuos vegetales			
Paja trigo	46	0.53	87:1
Paja cebada	58	0.64	90:1
Paja arroz	42	0.63	67:1
Paja avena	29	0.53	55:1
Rastrojos maíz	40	0.75	53:1
Leguminosas	38	1.50	28:1
Hortalizas	30	1.80	17:1
Tubérculos	30	1.50	20:1
Hojas secas	41	1.00	41:1
Aserrín	44	0.06	730:1

Figura 1.5. Relación C/N de algunos residuos disponibles en el medio rural *(Fuente: https://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf)*

- Niveles de sólidos totales y sólidos volátiles: La materia orgánica está compuesta por agua y una parte sólida llamada sólidos totales (ST). La cantidad de sólidos totales debe ser tenida en cuanta ya que limitan la movilidad de los microorganismos en la mezcla, lo cual puede desencadenar una mala producción de biogás, disminuyendo la eficiencia del proceso. Para conseguir un buen funcionamiento del proceso, se ha demostrado experimentalmente que la carga de sólidos totales no debe ser superior a 8% o 12%.

  Los sólidos volátiles (SV) son una parte de los sólidos totales que se liberan de una muestra, volatilizándose al ser calentados a una temperatura de 600º

durante 2h. Estos sólidos volátiles tienen componentes orgánicos que serán convertidos en metano.

- Nutrientes: Para la síntesis de biomasa en el proceso anaeróbico, como en todas las operaciones bioquímicas, se requieren macronutrientes y micronutrientes, aunque la producción de biomasa por organismos anaeróbicos es baja.
  Los macronutrientes como nitrógeno y fósforo tienen una demanda en el proceso de aproximadamente el 12g de nitrógeno por cada 100g de biomasa anaeróbica producida, y del 10% de la DQO en fósforo.
  Además, son importantes algunos metales traza como el hierro, níquel, cobalto, etc. Estos metales mejoran la producción de metano.

- Potencial REDOX: El potencial de óxido – reducción (REDOX) mide la facilidad con la que un medio pierde (reductor) o gana (oxidante) electrones. Para lograr un crecimiento adecuado de microorganismos anaerobios, el potencial REDOX debe mantenerse entre -220 mV y -350 mV, con un pH de 7.0.

- Compuestos tóxicos: Las sustancias tóxicas pueden formar parte de las materias primas o ser un subproducto de la actividad metabólica de las bacterias, pero deben ser controladas, ya que pueden inhibir el proceso de digestión anaeróbica.

La obtención de biogás es un proceso sensible, por lo que estas condiciones son muy importantes y han de controlarse para que el proceso discurra correctamente y se obtenga el gas de una manera eficiente.

El gas resultante tiene una composición de entre un 50% y un 75% de metano, entre un 25% y un 50% de CO_2 y la cantidad restante está compuesta por vapor de agua, hidrógeno y ácido sulfhídrico. Este gas resultante debe ser tratado para eliminar las "impurezas" y conseguir una mayor calidad para su posterior uso, aumentando así la cantidad de metano y haciendo que sea adecuado para su aprovechamiento energético.

Características de una planta de biogás:

Para poder llevar a cabo la obtención del biogás es necesario contar con una planta en la cual se concentre y se desarrolle todo el proceso, de manera que la materia prima pase por distintas etapas y por distintos equipos, con el fin de obtener un gas de la mayor calidad posible.

Dependiendo del uso que se dé al gas obtenido, la planta deberá contar con unos elementos u otros, pero el proceso de obtención del biogás es el mismo.

El esquema que sigue una planta de biogás es el siguiente:

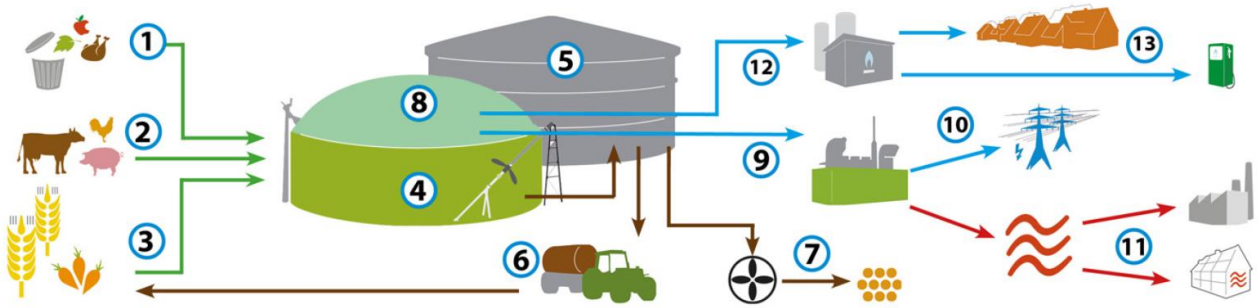

Figura 1.6. Esquema planta de biogás *(Fuente: https://www.weltec-biopower.es/centro-de-informaciones/biogas/como-funciona-una-planta-de-biogas.html)*

Los elementos señalados en la Figura 1.4. corresponden a las distintas partes del proceso de obtención de biogás [12].

Los elementos 1, 2 y 3 corresponden con la materia prima que alimenta el proceso, siendo el número 1 los residuos domésticos (RSU) de carácter orgánico, el número 2 los purines, estiércol y otros excrementos generados en las ganaderías, y el número 3 los residuos de explotaciones agrícolas como pueden ser restos de cosechas, poda, materia orgánica ensilada, etc. Esta materia prima es machacada para ser convertida en pequeños trozos, y mezclada con los productos líquidos como los purines para conseguir una especie de papilla, con el fin de facilitar y agilizar el proceso de digestión anaeróbica.

El elemento 4 corresponde con el fermentador o digestor, en el cual se lleva a cabo la obtención del biogás indicada anteriormente. Es una parte muy importante del proceso, ya que de su correcto funcionamiento depende la eficiencia de la planta a la hora de generar el biogás. Debe estar compuesto por materiales adecuados, que aguanten las condiciones necesarias de presión y temperatura para la elaboración del biogás y resistan ante el ataque de las sustancias creadas en su interior, como por ejemplo el sulfuro de hidrógeno.

Existen distintos tipos de biodigestores, pudiendo escoger el más adecuado para cada caso [13]:

- Biodigestores de flujo pistón: Cuentan con una cámara de digestión alargada, por lo que los residuos se degradan más lentamente, a medida que avanzan por el digestor. En este tipo de biodigestores el tiempo de retención es menor. Se dividen en el modelo horizontal y el modelo horizontal de bajo coste.

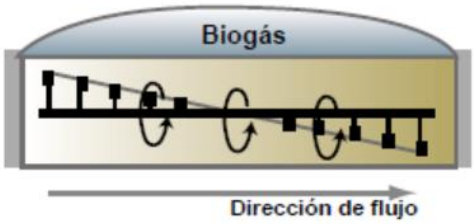

Figura 1.7. Esquema biodigestor de flujo pistón *(Fuente: https://autoconsumo.minenergia.cl/?page_id=524)*

- Biodigestores de mezcla completa: Necesitan que se le añada carga periódicamente, la cual se mezcla casi en su totalidad con la carga ya existente dentro del digestor. Esta mezcla hace que parte del material sin degradar salga en el efluente. Existen dos tipos:

  Modelo chino: Se trata de una estructura cerrada con cámaras de carga y descarga, construida con cemento armado o ladrillos y una vida útil de unos 15 años. Necesita un gasómetro para contener el volumen de gas generado.

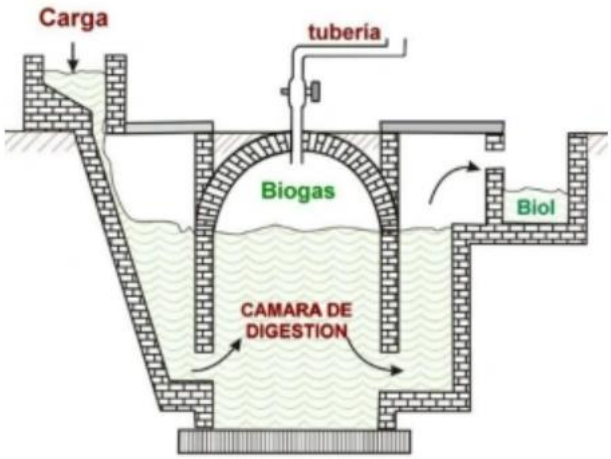

Figura 1.8. Biodigestor tipo chino *(Fuente: https://ecoinventos.com/clasificacion-de-biodigestores/)*

Modelo indio (domo flotante): Consta con una campana o domo que sube y baja en función del volumen de gas generado. No necesita gasómetro ya que el gas está a una presión relativamente constante en su interior.

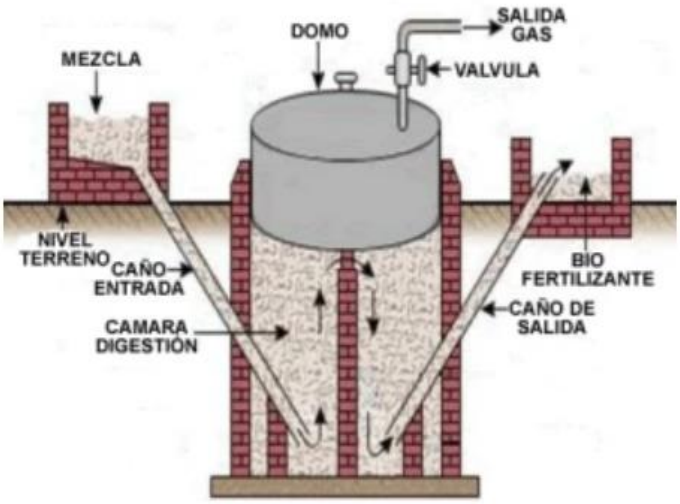

Figura 1.9. Biodigestor tipo indio *(Fuente: https://ecoinventos.com/clasificacion-de-biodigestores/)*

- Biodigestores discontinuos: Son contenedores cerrados en los cuales el proceso no finaliza hasta que no se ha producido todo el biogás posible. Tienen la ventaja de poder contener una gran carga de material requiriendo poca agua, por lo que se suelen aplicar a residuos muy sólidos. Estos reactores tienen un tiempo de digestión de las sustancias, pero no de retención.

El biogás generado se almacena en la parte alta del digestor (número 8) o bien en un gasómetro separado del digestor, desde donde se transportará para ser utilizado en alguno de los usos que se le pueden dar. Si el biogás va a ser utilizado para generar energía eléctrica y térmica se debe quemar en la planta de cogeneración (número 9), pero si se desea dar un uso como combustible para vehículos o para inyectar el gas a la red, debe ser tratado mediante un "upgrading" en el cual se purifique el gas eliminando las impurezas y el CO_2 y aumentando el porcentaje de metano, de forma que posea unas cualidades parecidas a las del gas natural (número 12). Esta depuración del biogás consiste en eliminar el dióxido de carbono (CO_2), el sulfuro de hidrógeno (H_2S), el agua (H_2O) y otras partículas que puedan aparecer, al eliminar dichos elementos la cantidad de metano aumenta. Además, como veremos más adelante, en el upgrading se controla la densidad de energía, el índice de Wobbe, la presión y el poder calorífico para que cumpla con los parámetros requeridos, también se le agrega un olor característico como

al gas natural como medida de seguridad, para que pueda ser fácilmente detectado en caso de fuga.

En el número 5 encontramos un almacén para los residuos generados por la planta. Dicho residuo es el digestato, el cual será utilizado posteriormente como abono de gran calidad para los cultivos, ya sea en forma de abono líquido (número 6) o como abono seco (número 7).

Como podemos ver las formas de obtención de biogás son muy variadas, por lo que es necesario realizar un estudio previo de las materias primas cercanas a la planta y del uso al que se va a destinar el biogás generado, para así poder establecer un proceso adecuado, con la elección de la mejor tecnología para obtener un resultado lo más eficiente posible.

Proyectos de biogás en España:

La obtención de biogás es una tecnología que aún debe desarrollarse mucho más para aumentar su inestimable potencial, por lo que es necesario que las administraciones apoyen los proyectos y sean conscientes de los beneficios que pueden aportar a la sociedad.

En España, el número de plantas de biogás está aumentando, aunque la producción de biometano es bastante baja, lo que hace que estemos en los puestos de cola si nos comparamos con otros países europeos. En concreto, España cuenta con 146 instalaciones de biogás de las cuales 46 se sitúan en vertederos, 34 en depuradoras de aguas residuales, 13 al sector agropecuario, 7 al sector papel y el resto se reparte entre el sector químico, alimentación y otros, según datos proporcionados por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) [14].

Además, cabe señalar que sólo existen dos plantas en España cuyo fin sea inyectar el biogás producido en la red. Estas plantas están situadas en Madrid y se trata de la planta de la Edar de Butarque, la cual es una depuradora de agua que aprovecha los residuos obtenidos tras depurar las aguas del río Manzanares, y la planta ubicada en el parque tecnológico de Valdemingómez [15], la cual cuenta con tres centros de tratamiento (Las Dehesas, Las Lomas y La Paloma) en los cuales se gestionan los residuos urbanos, siendo Las Dehesas y La Paloma centros de biometanización, para posteriormente transformar parte del biogás obtenido en biometano e inyectarlo a la red, mientras que otra parte de este biogás es llevada a la planta de cogeneración presente en el complejo para generar electricidad, obteniendo unos 18,9 MW.

La planta de Valdemingómez es la más grande de España en cuanto a generación de biometano, la cual generó en 2019 las siguientes cifras:

Parámetro		Cantidad
Planta de tratamiento de Biogás	Volumen Biogás tratado en PTB (m3 entrada a lavado)	17.932.402,94
	Volumen Biometano inyectado Red gasista (m3)	9.279.160,15
	Energía térmica inyectada Red gasista (MWh térmicos)	100.276,00

Tabla 1.3. Producción en 2019 planta Valdemingómez *(Fuente: https://www.gasrenovable.org/proyecto/valdemingomez/)*

Aunque estas dos son las plantas más importantes, existen otras plantas en España destinadas a otros usos, como la producción de biometano para movilidad de vehículos, o plantas más pequeñas para uso particular en explotaciones ganaderas o superficies de cultivo.

No obstante, se debe seguir desarrollando esta tecnología en nuestro país para poder aumentar la producción de energía y de combustible a partir del biogás, y poder estar a la altura de otros países europeos, reduciendo en gran medida las emisiones y mejorando la calidad de vida de la poblaciónal reducir la contaminación ambiental en las ciudades.

Proyectos de biogás en el mundo:

La producción de biogás a nivel mundial depende de dos factores, las políticas de cada país que apoyen la generación de energía por métodos menos contaminantes, y la materia prima disponible para una producción continua de biogás.

Casi todo el biogás generado a nivel global se concentra en Europa, China y EEUU, los cuales cuentan con un 90% de la producción, según datos de la IEA [16].

De los tres, el mayor productor es Europa, y países como Alemania concentran la mayor parte de la generación de biogás, con aproximadamente dos tercios de la capacidad de plantas de biogás, alimentadas por cultivos energéticos y residuos.

Según la European Biogas Association (EBA), Europa cuenta con unas 19.000 plantas de biogás y unas 725 plantas de biometano, con una producción estimada de 167 TWh de biogás y 26 TWh de biometano. Las políticas que están tomando los países miembros de la Unión Europea en compromiso con la reducción de emisiones de CO_2 hacen que la previsión de generación de gas de origen renovable aumente considerablemente de cara al futuro.

En el caso de China, el país ha optado por la generación de plantas de biogás más pequeñas en zonas rurales con el fin de proporcionar acceso a sus habitantes a energías más modernas y limpias para poder así reducir las emisiones de sus núcleos urbanos. Por otra parte, tienen diferentes programas para apoyar la instalación de plantas de cogeneración y orientar la generación del biogás a la industria, con lo que podrían reducir notablemente la contaminación en las ciudades y zonas industriales.

En EEUU, aproximadamente el 90% de su producción de biogás viene de los residuos de vertederos, aunque está aumentando la producción a partir de residuos ganaderos debido a que estos suponen un porcentaje elevado de las emisiones de metano del país. El apoyo del gobierno al uso del biometano para transportes hace que EEUU lidere a nivel mundial su proyección en este campo.

Poco a poco, el resto de países están apostando por la generación de biogás a medida que la tecnología evoluciona y se consolidan las ventajas en los diferentes aspectos que puede tener la generación de este gas renovable a partir de los residuos generados por la sociedad.

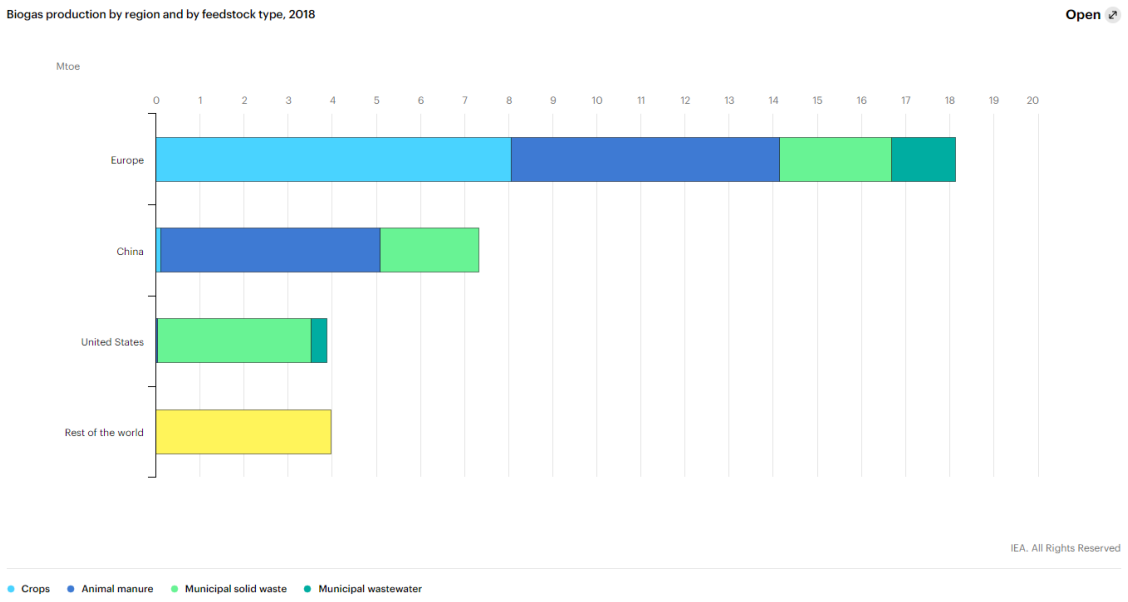

Figura 1.10. Producción de biogás por país y materia prima utilizada en 2018 *(Fuente: https://www.iea.org/reports/outlook-for-biogas-and-biomethane-prospects-for-organic-growth/an-introduction-to-biogas-and-biomethane)*

1.1.7. Ventajas e inconvenientes del biogás

Debido a sus características, origen y usos el biogás presenta una serie de ventajas y desventajas, las cuales son importantes para conocer más a fondo éste tipo de energía y poder valorar el posible impacto que puede causar en la zona de implantación de la planta.

Entre las principales ventajas del biogás encontramos [17, 18]:

- Es posible transportarlo por la red de gas actual, ya que es prácticamente idéntico al gas natural de origen fósil, tras una purificación de sus compuestos.
- Al igual que el gas natural, se puede comprimir y almacenar.
- Puede convertirse en biometano tras un proceso de purificación, lo que permite su uso en movilidad de vehículos.
- En comparación con los combustibles fósiles, el biogás es más limpio.
- Permite aprovechar residuos que, de otra forma, acabarían en otros espacios naturales como mares o ríos. Esto permite reducir la cantidad de desechos humanos y por consiguiente reducir la contaminación.
- Mejora la capacidad de tratamiento de residuos, disminuyendo la cantidad de estos que debe ser almacenada.
- Es adecuado para zonas rurales, las cuales pueden encontrarse más aisladas y su acceso es más difícil, ya que podrían producir su propio gas prácticamente in-situ, esto hace que el mundo rural pueda estar integrado dentro de los objetivos de transición energética.
- Es una fuente de energía renovable, por lo que se puede aprovechar y desarrollar sin miedo de que se termine, y se pueda disminuir así el uso y la dependencia de los combustibles fósiles.
- Tiene un coste bajo y un diseño sencillo.
- Impulsa la economía circular favoreciendo el autoconsumo energético, ya que los residuos generados por una actividad, como puede ser la ganadería, son utilizados para producir la energía necesaria para que dicha actividad se siga desarrollando y para el propio proceso de obtención del biogás.
- Es una tecnología que funciona 24/7 y no depende de los fenómenos atmosféricos como sucede con la energía solar, eólica o hidráulica.

El biogás también tiene su parte negativa, y entre sus inconvenientes se encuentra:

- Puede que en algunos casos no sea 100% limpio, debido a impurezas y otros elementos, lo cual conlleva que deba pasar una serie de filtros.
- Actualmente, la producción no es muy eficiente debido al lento avance tecnológico que presentan estos procesos, por lo que no es posible hacer que aumente la cantidad producida de biogás, a un precio más reducido y de una manera más sencilla.
- Normativa actual en proceso de desarrollo, por lo que puede dar lugar a incertidumbre para la inversión en proyectos de este tipo.

1.1.8. Beneficios sociales de una planta de biogás

Para conseguir que un proyecto tenga el visto bueno de la población y, por lo tanto, de la administración es importante que tenga un valor añadido para la sociedad, con el cual las personas, comercios y todo el entorno en el cual se desarrolla el proyecto puedan obtener algún beneficio, ya sea directo o indirecto, de la implantación de éste.

Centrándonos en la implantación de una planta de biogás los beneficios pueden ser varios dependiendo de la zona en la que se encuentre el emplazamiento, en nuestro caso, la central está situada en el municipio de Valdáliga el cual está formado por una serie de pueblos con gran presencia de ganadería y agricultura. Teniendo en cuenta los datos anteriores, los beneficios que aportará la planta al municipio son los siguientes:

- Trabajo en la planta para una serie de personas cualificadas y no cualificadas con el fin de desempeñar labores en distintos departamentos de la planta como puede ser mantenimiento, limpieza, operación, transporte, etc.
- Obtención de beneficios para las granjas, agricultores y ayuntamientos, generados por la venta de residuos ganaderos como purines, residuos agrícolas como restos de cosechas y residuos urbanos que se generan en las poblaciones y que pueden ser reutilizados para reducir la cantidad de deshechos y sacarles cierto rendimiento económico.
- Reducción de malos olores debido a que los purines y resto de residuos no estarán almacenados en los alrededores de los establecimientos en los que se generan.
- Obtención de abonos y fertilizantes a partir de los residuos generados en la planta tras realizar el proceso de obtención de biogás. Estos productos obtenidos son de gran calidad y mejoran la calidad del suelo, ya que contienen nitrógeno, potasio, fósforo, calcio y otros elementos.
- Modernización de zonas rurales en cuanto a la forma de obtención de energía, aportando el valor añadido de ser una energía limpia y renovable.
- Mejora de la calidad de vida de las personas al vivir en un entorno con menos contaminación.
- Permite conocer los beneficios directos de las energías renovables e inculca una cultura sobre la importancia del reciclaje y la necesidad de disminución de los residuos que van a parar a vertederos.
- Inclusión del municipio en los objetivos de transición energética, lo que da a la zona un reconocimiento como una de las pioneras en establecer esta tecnología en el país.

1.1.9. Normativa y legislación

Un paso importante para el desarrollo de una tecnología es contar con legislación que respalde el uso de ésta y se elabore una normativa con unos estándares de calidad que permita su puesta en funcionamiento, lo cual favorece la inversión por parte de empresas, particulares o agrupaciones para llevar a cabo la puesta en funcionamiento de todos los procesos necesarios.

En este punto, y referente al objeto de este trabajo, se repasará la legislación vigente y los estándares de calidad exigidos para la inyección de biometano a la red de gas en España.

Es necesario indicar que toda la legislación con respecto a la inyección del biometano en la red de gas natural, publicada en forma de reglamentos y directivas, está regulada por la Unión Europea y es de obligado cumplimiento para todos los países miembros, con el fin de asegurar la eficiencia y la seguridad en el proceso.

- **Directiva (UE) 2019/692 del Parlamento Europeo y del Consejo**, que modifica la **Directiva 2009/73/CE** sobre normas comunes para el mercado interior del gas natural. Dicha legislación corresponde al transporte del gas natural, el biogás y otros tipos de gas que puedan ser inyectados a la red, con el fin de facilitar el comercio de gas mediante gasoductos entre países miembros de la Unión Europea aumentando la calidad del servicio y contribuyendo a la seguridad del suministro.
  Además, se trata de marcar un procedimiento a la hora de establecer relaciones comerciales entre un país perteneciente a la Unión Europea y terceros países, como forma de actuación en caso de tener que modificar parámetros técnicos en algún punto de la red de gasoductos en caso de conexión con redes de terceros países, de forma que se cumplan los requisitos de seguridad y no se perjudique el suministro a miembros de la UE.

- **Directiva (UE) 2015/1513 del Parlamento Europeo y del Consejo**, que modifica la **Directiva 2009/28/CE** relativa al fomento del uso de energías renovables. La directiva indica la necesidad de establecer una cuota mínima de energía en el transporte procedente de fuentes renovables, por lo que se recomienda el uso de biocombustibles para alcanzar dicho objetivo. En cuanto a productores de energías renovables, se establece que el coste de conexión a la red de los nuevos productores debe ser transparente, objetivo y no discriminatorio.

- **Reglamento (UE) 2019/1009 del Parlamento Europeo y del Consejo**, por el que se establecen disposiciones relativas a la puesta a disposición en el mercado de los productos fertilizantes de la UE y se modifican los Reglamentos (CE) nº 1069/2009 y (CE) nº 1107/2009 y se deroga el Reglamento (CE) nº 2003/2003.

- **Reglamento (UE) 2017/1938 del Parlamento Europeo y del Consejo**, el cual deroga el **Reglamento (UE) 994/2010**, sobre medidas para garantizar la seguridad del suministro de gas. En dicho reglamento se manifiesta la gran importancia, tanto a nivel económico como los posibles efectos sociales graves, que puede ocasionar la interrupción del suministro de gas, sobre todo para clientes de grupos vulnerables o que vivan en condiciones climáticas difíciles. Los objetivos para garantizar el suministro ininterrumpido de gas a toda la unión debe alcanzarse de la forma más rentable y de manera que los mercados de gas no se vean alterados.

- **Reglamento (CE) Nº 185/2007 de la Comisión**, de 20 de febrero de 2007, por el que se modifican los Reglamentos (CE) nº 809/2003 y (CE) nº 810/2003 en lo relativo a la validez de las medidas transitorias para las plantas de compostaje y biogás contempladas en el Reglamento (CE) nº 1774/2002 del Parlamento Europeo y del Consejo.

- **Reglamento (CE) Nº 92/2005 de la Comisión**, de 19 de enero de 2005, por el que se aplica el Reglamento (CE) nº 1774/2002 del Parlamento Europeo y del Consejo en lo que se refiere a los métodos de eliminación o a la utilización de subproductos animales y se modifica su anexo VI en lo concerniente a la transformación en biogás y la transformación de las grasas extraídas.

- **Reglamento (CE) Nº 208/2006 de la Comisión**, de 7 de febrero de 2006, por el que se modifican los anexos VI y VIII del Reglamento (CE) nº 1774/2002 del Parlamento Europeo y del Consejo, en lo que se refiere a las normas de transformación para las plantas de biogás y compostaje y las condiciones aplicables al estiércol.

- **Resolución del 8 de octubre de 2018, de la Dirección General de Política Energética y Minas**, por las que se modifican las normas de gestión técnica del sistema NGTS-06, NGTS-07 y los protocolos de detalle PD-01 y PD-02. En el apartado cuarto de dicha resolución se establecen los estándares de calidad que deben cumplir los gases obtenidos de fuentes no convencionales producidos mediante procesos de digestión microbiana, y que quieran ser inyectados en la red de gas natural.
  Las características a cumplir por el gas generado son las siguientes:

Propiedad (*)	Unidad	Mínimo	Máximo
Metano (CH_4).	mol %	90	
CO	mol %	–	2
H_2	mol %	–	5
Compuestos Halogenados: – Flúor/Cloro.	mg/m³	–	10/1
Amoníaco.	mg/m³	–	3
Mercurio.	µg/m³	–	1
Siloxanos.	mg/m³	–	10
Benceno, Tolueno, Xileno (BTX).	mg/m³	–	500
Microorganismos.		Técnicamente puro.	
Polvo/Partículas.		Técnicamente puro.	

(*) Tabla expresada en las siguientes condiciones de referencia: [0 ºC, V(0 ºC, 1,01325 bar)].

Tabla 1.4. Calidad del gas procedente de fuentes no convencionales *(Fuente: https://www.boe.es/eli/es/res/2018/10/08/(3)/dof/spa/pdf)*

Además, se especifica que el biometano inyectado en la red debe tener un contenido de O_2 que dependerá del tipo de red en el que se inyecte.

a) Inyección de biogás en redes de transporte: Contenido de O_2 hasta el 0,3 mol % cuando se cumpla simultáneamente en el punto de inyección las circunstancias:
   - Contenido en CO_2 inferior al 2 mol %.
   - Punto de rocío del agua no deberá superar los -8ºC.
   - El volumen de inyección de gas en la red de transporte troncal no puede exceder de 5.000 m³/h.

b) Inyección de biogás en redes de distribución: Contenido de O_2 hasta el 1 mol % cuando se cumpla simultáneamente en el punto de inyección las circunstancias:
   - Contenido en CO_2 inferior al 2 mol %.
   - Punto de rocío del agua no deberá superar los -8ºC.

- **Real Decreto 1255/2010**, de 8 de octubre, por el que se modifica el **Real Decreto 949/2009**, de 5 de junio, por el que se establecen las bases reguladoras de las subvenciones estatales para fomentar la aplicación de los procesos técnicos del Plan de Biodigestión de Purines.

- **Real Decreto-Ley 6/2009**, de 30 de abril, por el que se adoptan determinadas medidas en el sector energético y se aprueba el bono social.

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

- **Real Decreto 919/2006**, de 28 de julio, por el que se aprueba el Reglamento técnico de distribución y utilización de combustibles gaseosos y sus instrucciones técnicas complementarias ICG 01 a 11.

1.1.10. Elementos de la instalación

Para poder obtener el biometano con las características necesarias para su inyección a la red es necesario contar en la planta con una serie de elementos para obtener el biogás de manera eficiente en primer lugar, y posteriormente tratar el gas obtenido para dotarle de mayor pureza en metano y eliminar las sustancias que no nos interesan o son contraproducentes para el uso del biometano y las impurezas.

Agruparemos los elementos que componen la instalación en tres conjuntos dependiendo si son componentes destinados a la recepción y separación de la materia prima, si son los encargados del proceso de generación y almacenamiento del biogás, o si pertenecen a la unidad de purificación para ser inyectado a la red.

Recepción y separación de materia prima [19]:

En este apartado se debe tener en cuenta que la materia prima puede encontrarse en forma líquida o sólida, por lo que será necesario contar con elementos capaces de transportar dicha materia.

- Silo de almacenamiento: Los residuos procedentes de explotaciones agrícolas, en estado sólido, deben ser almacenados en silos hasta su utilización. En el presente proyecto se supondrá que dichos residuos han sido procesados antes de su transporte hasta la planta de forma que se encuentran con un tamaño adecuado para su uso.

- Tolva de alimentación: Una vez se desea introducir en el proceso la biomasa presente en los silos, es necesario introducirla en una tolva de alimentación que se encargará de conducir su contenido hasta una cinta transportadora.

- Cinta transportadora: Se encargará de conducir toda la materia prima en estado sólido hasta la bomba de mezclado.

- Tanque de residuos líquidos: Los purines procedentes de explotaciones ganaderas deben ser almacenados hasta su uso, por lo que se debe contar con unos tanques para poder almacenarlo y después ser conducido hasta la bomba de mezclado. El tiempo de almacenamiento de estos purines debe ser breve.

- Bomba de mezclado: Equipada con dos mezcladores de rodillos, será la encargada de la mezcla de la materia en estado sólido con la materia en estado líquido. Tras este mezclado, es posible alimentar los digestores con el sustrato ya mezclado antes de la fermentación.

Proceso de generación y almacenamiento de biogás [19]:

La parte más importante y más sensible de todo el proceso es la correspondiente a la obtención del biogás, ya que se deben dar unas condiciones de temperatura adecuadas para que el proceso se desarrolle correctamente.

- Digestores: Se trata de un gran recipiente cerrado herméticamente en el cual se desarrolla el biogás. Los sustratos introducidos se mezclan continuamente con la ayuda de un agitador para evitar la formación de capas flotantes y sumergidas, y aprovechar mejor los residuos.
  Los digestores cuentan en sus paredes con una serie de tubos calefactores que son los encargados de que la mezcla interior se encuentre a la temperatura adecuada para el desarrollo del proceso de formación de metano.

- Almacén digestato: El residuo generado en la planta, conocido como digestato, se debe almacenar en unos depósitos hasta su utilización como fertilizante. No debe prolongarse su estancia para evitar que se endurezca o pierda propiedades.

- Almacenamiento de biogás: El biogás es almacenado en la parte superior del propio digestor, desde donde es enviado a la planta de upgrading.

- Antorcha: Cuando se produce un exceso de generación de biogás que no pueda ser tratado en la planta ni almacenado, se debe enviar dicho exceso de gas a la antorcha para ser quemado, ya que la emisión de metano directamente a la atmósfera es muy nocivo.

Upgrading y conexión a red [20]:

Finalmente, para poder inyectar el biogás generado por la planta a la red, debemos dotarle de una pureza y unas características requeridas, por lo que es necesario filtrar dicho gas hasta conseguirlo. Es necesario utilizar distintos mecanismos para ir limpiando y purificando el gas en cada paso. También se debe hacer una limpieza tanto del agua como del aire utilizado en el proceso para poder ser emitido a la atmósfera cumpliendo con la normativa de emisiones. En el presente proyecto se utilizará la tecnología de lavado con agua o PWS para purificar el biogás.

- Colectores de entrada: Son los encargados de la recepción y distribución del biogás en la planta de upgrading.

- Gasómetro: es necesario para regular el funcionamiento de la planta, almacena el biogás generado y controla el volumen de gas que entra al proceso de upgrading. Los gasómetros pueden encontrarse en la parte superior del propio digestor o bien separados de éste como una unidad aparte.

Figura 1.11. Ejemplo de gasómetro sobre el digestor *(Fuente: http://www.biogastechnology.es/gasometro)*

Figura 1.12. Ejemplo de gasómetro sobre losa de hormigón*(Fuente: http://www.biogastechnology.es/gasometro)*

- Compresores primarios: Son necesarios para la compresión del biogás a la presión de trabajo. Esta compresión se realiza en dos etapas, en la primera se comprime el gas desde 0,25 a 3 bares y en la segunda de 3 a 9 bares, presión a la cual se realiza el tratamiento.

- Scrubber y chillers: en estos elementos se realiza el lavado del biogás mediante la inyección de agua a contracorriente, con el fin de obtener un gas limpio de CO_2 y H_2S, y un 98% de pureza de CH_4.

- Compresor principal: Una vez secado el gas, tras el proceso anterior, se envía al compresor principal desde el cual se comprime el biometano limpio a una presión de 72 Bar, que es la presión de vertido a red.

- Stripper y depuradora: El agua utilizada en el proceso debe ser tratada para limpiarla y poder reintroducirla de nuevo en el proceso, para ello el stripper se encarga de pasar aire limpio a contracorriente del agua, y la depuradora realiza la filtración y la ósmosis inversa para terminar de limpiar el agua.

- Biofiltro con fase húmeda previa (Stripper): El aire utilizado para la limpieza del agua de proceso también debe ser limpiado, por lo que se utilizan distintos elementos con el fin de poder emitir ese aire a la atmósfera cumpliendo la normativa de emisiones. En este stripper se lleva a cabo una ducha a contracorriente del aire con sosa para arrastras el H_2S. Después, se pasa por un biofiltro cerrado de corteza de pino que se encarga de atrapar las moléculas de olor.

- Filtro de carbón activo: Con este último filtro se eliminan las trazas de H_2S y otros compuestos, haciendo posible la emisión de este aire a la atmósfera.

Todos los elementos descritos son necesarios para el correcto funcionamiento de la planta, cumpliendo con la normativa de emisiones y haciendo así que la producción de biometano sea un proceso limpio y una alternativa real a los combustibles convencionales.

1.1.11 Modelo de planta de biogás

La figura 1.13. muestra un modelo de planta de biogás en el cual se puede visualizar de forma sencilla los elementos que componen la planta.

Figura 1.13. Modelo planta de biogás *(Fuente: https://residus.gencat.cat/es/ambits_dactuacio/valoritzacio_reciclatge/instal_lacions_de_gestio/tractament_biologic/digestio_anaerobia/)*

1. Edificio de oficinas y control
2. Zona de recepción y almacenamiento de purines
3. Zona de almacenamiento de maíz y pasto ensilado
4. Tolva de alimentación
5. Bombas de mezclado y alimentación del digestor
6. Digestor

7.8.9. Tratamiento y almacenamiento de digestato

10. Gasómetro

11. Antorcha de seguridad

12. Unidad de upgrading de biogás

13.14.15. Unidad de cogeneración (mejora de la planta)

1.2. ANEJOS A LA MEMORIA

1.2.1. Dimensionamiento

Para llevar a cabo el dimensionamiento de los elementos que forman la planta se debe tener en cuenta la cantidad de materia prima que entrará en el proceso, para a partir de ahí poder realizar los cálculos de la producción de la planta. En el caso de este estudio, el biogás generado se purificará y se inyectará a la red de gas, por lo que el objetivo es producir la mayor cantidad de biogás posible, teniendo en cuenta la materia prima presente en el área de influencia de la planta.

Cantabria tiene un censo de 301.821 cabezas de ganado bovino a fecha de mayo de 2021 [3], por lo que la producción de biogás de la planta estará sujeta al tratamiento de una materia prima estimada de 30.000 t/año de purines y 30.000 t/año de residuos agroalimentarios, por lo que se dimensionará la planta en base a estos datos.

En este apartado se muestran las dimensiones necesarias que deben tener los elementos de la instalación, información que será justificada en el apartado siguiente con la realización de los cálculos necesarios para conocer la capacidad de generación de biogás de la planta, y de almacenamiento de materias primas y lodos del proceso.

En cuanto al almacenamiento de materias primas, se debe contar con un depósito para purines. Para llevar a cabo los cálculos y el dimensionamiento con datos justificados y factibles, se realizará el estudio con purines de origen vacuno, de los cuales podemos conocer que una vaca adulta genera unos 50 kg/día de purines [21], por lo que el depósito de éstos deberá ser capaz de almacenar 100 m^3 diarios.

El material sólido se debe almacenar en silos tipo bunker, los cuales deben ser capaces de almacenar unos 100 m^3 diarios de residuos agroalimentarios, distribuidos en dos silos de 50m^3, con el fin de tener materia prima de sobra para introducir al proceso. Estos silos pueden ser de hormigón para los residuos de origen vegetal, aislados en la parte inferior para evitar la posible filtración y contaminación del nivel freático, y que aportarán una alta resistencia y larga duración.

Se debe contar en la instalación con abastecimiento de agua, ya que la mezcla que se introduce al digestor debe tener unas proporciones determinadas de sólidos y líquidos. Para conseguir que los gastos sean menores, se puede construir una canalización desde el río Escudo con la cual abastecer la planta, aunque se contará con un depósito de agua de 100 m^3 con el fin de tener agua de reserva.

Cabe resaltar que tanto los depósitos para sólidos como los depósitos para líquidos se han sobredimensionado para poder hacer frente a imprevistos y tener así una generación continua de biogás.

El elemento principal de una planta de biogás es el digestor, por lo que para llevar a cabo el presente proyecto de debe dimensionar adecuadamente el tamaño del digestor y la cantidad de éstos, los cálculos en los cuales se justifican las dimensiones elegidas se detallarán en el siguiente apartado.

Como veremos, necesitamos un volumen de unos 6000 m^3 para poder procesar las toneladas de materia prima establecidas, por lo que utilizaremos dos digestores con unas dimensiones Ø22 h8, los cuales nos proporcionan un volumen de unos 3000 m^3 cada uno.

Debemos diseñar también las dimensiones que tendrá el almacén destinado al digestato producido en la planta hasta su venta o transporte a otros establecimientos.

Nuestra planta genera 82 m^3/día de digestato, por lo que tendremos un almacén de este para un mínimo de cinco días, por lo que utilizaremos un depósito con una capacidad de 450 m^3, se ha sobredimensionado ligeramente para tener margen de almacenamiento.

Cabe resaltar, que el depósito para el digestato se ha diseñado para almacenarlo tal y como sale de la planta en estado líquido, por lo que si en futuros proyectos se quisiese secar el digestato para producir fertilizante sólido se debe habilitar una zona para ello.

1.2.2. Cálculos

Antes de llevar a cabo los cálculos se debe señalar que la composición de los purines estudiados corresponde con purines de ganado vacuno, por ser este el mayoritario en la comunidad y por lo tanto es más factible tener un suministro continuo de dicha materia prima, tal y como se muestra en la siguiente tabla, la cual ha sido elaborada con datos obtenidos del Instituto Cántabro de Estadística (ICANE) sobre el segundo semestre de 2020. [22]

Especie	Censo nº cabezas
Bovino	279.317
Porcino	1.513
Ovino	39.690
Caprino	20.017

Tabla 1.5. Censo de ganado por especie *(elaboración propia)*

En este apartado se desarrollarán los cálculos para conocer la cantidad de biogás generado a partir de la cantidad establecida de los distintos sustratos que entrarán al proceso, con el fin de conocer el potencial de la planta y por lo tanto su viabilidad, y poder dimensionar los elementos que componen la planta de forma que cumplan los requerimientos de volumen para poder hacer frente a la producción.

Por otra parte, se realizará también un cálculo de los costes de inversión y de explotación de la planta, con los cuales se desarrollará en apartados posteriores un estudio económico – financiero del proyecto.

Para conocer la generación de biogás de la planta debemos tener en cuenta la cantidad diaria de sustrato que va a ser introducido en el digestor, y la composición de este.

En el caso de los purines de ganado vacuno, la estimación de la cantidad de estos que se obtendrá diariamente se ha realizado en función de la cantidad de cabezas de ganado que se encuentran en el municipio de Valdáliga, y en los municipios colindantes, los cuales pueden abastecer también a la planta debido a la buena comunicación por carretera que hay entre los municipios. Los datos han sido obtenidos de la web del ICANE, tal y como se referenció anteriormente.

Municipio	Explotaciones	Reses
Valdáliga	223	6.860
Cabuérniga	85	3.494
Ruente	67	2.230
Cabezón de la Sal	83	1.462
Udias	52	682
Comillas	38	768
San Vicente de la Barquera	120	3.479
Herrerías	63	1.624
Rionansa	96	2.547
Total	**827**	**23.146**

Tabla 1.6. Número de explotaciones y reses en Valdáliga y alrededores *(elaboración propia)*

Con estos datos, la utilización de 82 t/día de purines procedentes de ganado vacuno es factible, y no existiría ningún problema de suministro, al poder obtener dicha materia prima de los municipios colindantes si fuese necesario.

En cuanto a los residuos agroalimentarios, se utilizarán residuos de diferente procedencia, en concreto se utilizará maíz ensilado y pasto ensilado, utilizando 41 t/día de cada uno.

En la siguiente tabla se resume el rendimiento de metano producido por cada tonelada de sustrato introducido al proceso [23, 24]:

RESIDUO	INTERVALO PRODUCCIÓN CH_4 (m^3/t)	PRODUCCIÓN CH_4 (m^3/t)
PURINES	11 a 19	15
MAÍZ ENSILADO	89 a 120	105
PASTO ENSILADO	93 a 109	100

Tabla 1.7. Producción de metano de distintos sustratos *(Fuente: https://energypedia.info/images/4/46/Guide_to_Biogas-_From_Production_to_Use.pdf)*

Por lo tanto, la cantidad diaria de CH_4 producida en el proceso será la siguiente:

RESIDUO	PRODUCCIÓN CH_4 (m^3/t)	CANTIDAD (t/dia)	PRODUCCIÓN DIARIA (m^3/dia)
PURINES	15	82	1230
MAÍZ ENSILADO	105	41	4305
PASTO ENSILADO	100	41	4100

Tabla 1.8. Cantidad de metano producid diariamente *(elaboración propia)*

El total de biogás producido diariamente por la planta será de 9635 m^3.

Una vez conocemos la producción de la planta, podemos calcular el volumen del digestor y del gasómetro.

- Volumen digestor:
  Debido a que la temperatura que se utilizará para llevar a cabo la digestión anaerobia se encuentra dentro del rango de la fermentación mesofílica, se tomará un tiempo de retención de 30 días.

$$THR = V / Q$$

$$THR = 30 \text{ días}$$
$$Q = 164 \text{ m}^3/\text{día}$$

El volumen del digestor será:

$$V = THR \times Q \rightarrow V = 30 \text{ días} \times 164 \text{ m}^3/\text{día} = 4920 \text{ m}^3$$

Al volumen calculado se le debe añadir un 20% más de seguridad, para la retención de purines y de gases, por lo que el volumen total del digestor será el siguiente:

$$V_T = V + (0,2V) = 5904 \text{ m}^3$$

- Volumen gasómetro:
  Aunque el propósito de la planta es verter el biogás generado a la red, dispondremos de un depósito donde almacenar parte del biogás antes de pasar por el proceso de upgrading, con el fin de tener una pequeña reserva y regular la entrada de biogás al proceso.
  Utilizaremos un gasómetro con capacidad para 1000 m^3, que supone aproximadamente el 10% de la generación diaria de biogás, y que nos permitirá tener un suministro estable al proceso de upgrading.

- Upgrading:
  Como se indicó en apartados anteriores, se utilizará la tecnología de lavado con agua a presión o PWS (Pressurized Water Scrubbing), con el cual se consigue separar el CH_4 del CO_2 gracias a la diferente solubilidad de estos en el agua. Dicho agua se inyecta a contracorriente en la columna, y absorbe el CO_2, ya que es más soluble que el CH_4.
  Mediante este proceso de upgrading, el cual es uno de los más utilizados, se consigue un biometano con una concentración de CH_4 del 96-98%, teniendo unas pérdidas de CH_4 de aproximadamente el 1% [25].
  Para la producción de biometano, supondremos que el 60% del biogás pasa a convertirse en biometano para su inyección a red, basándonos en las tasas de conversión de otros proyectos.

$$V_{Biometano} = V_{Biogás} \times 0,6$$

$$V_{Biometano} = 9.635 \times 0,6 = 5.781 \text{ m}^3/\text{día}$$

- Cantidad digestato:
  Tras el proceso de digestión anaerobia, se produce una serie de residuos denominado como digestato, el cual tiene unas características las cuales hacen

que sea utilizado como fertilizante para los campos de cultivo, por lo que su venta puede suponer un beneficio extra para la planta.
La eficiencia de la digestión anaeróbica en las plantas de biogás ronda el 50-60%, por lo que el digestato contiene el 40-50% de materia orgánica inicial.
En el presente proyecto, supondremos que la eficiencia es del 50%, poniéndonos en el caso más desfavorable.

$$\text{Digestato} = 0.5 \times Q$$

$$\text{Digestato} = 0.5 \times 164\ m^3/\text{día} = 82\ m^3/\text{día}$$

- Energía generada:
  Con el total de metano obtenido, podemos obtener los balances energéticos de la planta [7,11].

$$1\ m^3 \text{ de biogás} \approx 0{,}7 \text{ litros de gasolina}$$
$$5.781 m^3 \text{ biogás} \times 0{,}7 \text{ l gasolina} = 4046{,}7 \text{ l gasolina/día}$$

$$1 m^3 \text{ de biogás} \approx 6 \text{ kWh}$$
$$5.781\ m^3 \text{ biogás} \times 6 \text{ kWh} = 34.686 \text{ kWh}$$

En cuanto a los cálculos de costes de inversión y explotación de la planta, se han tomado como referencia datos lo más reales posibles presentes en bibliografía, proyectos similares, TFG y TFM, tratando de contrastar los datos y conocer su procedencia y veracidad, ya que no existe mucha información al respecto de estos aspectos por tratarse de un tema en desarrollo en el cual las empresas no aportan mucha información sobre costes y procesos [26, 27, 28].

- **Coste de inversión:** Como todo proyecto, antes de comenzar a operar, se debe realizar una inversión inicial en el desarrollo del proyecto y de las infraestructuras necesarias para llevarlo a cabo. Para la realización de la planta de biogás del presente proyecto será necesario desembolsar las siguientes cantidades antes de poner la planta en funcionamiento:

COSTE DE INVERSIÓN		
ELEMENTO	**DESCRIPCIÓN**	**COSTE (€)**
Desarrollo del proyecto	Ingeniería, supervisión obra	300.000
Digestión Anaerobia	Digestores, instrumentación proceso	2.500.000
Almacenaje Materias Primas	Depósitos, canalización agua	30.000
Almacenaje Digestato		15.000
Unidad Biometano		2.000.000
Inyección Red		300.000
Otros	Obras civiles menores, seguridad, movimientos de tierra, imprevistos (10%)	200.000
	COSTE TOTAL	5.345.000 €

Tabla 1.9. Desglose coste de inversión *(elaboración propia)*

Para estimar la cantidad de inversión inicial se han tenido en cuenta los aspectos del proyecto que tienen asociado un mayor coste, o son más complejos, con el fin de hacer una idea aproximada del desembolso inicial necesario antes de operar la planta.

Es necesario añadir que, debido a las características de fuente de energía renovable de la planta, se espera una ayuda económica por parte del gobierno, la cual será tenida en cuenta en apartados posteriores.

- **Coste de explotación:** Una vez la planta de biogás entre en funcionamiento, habrá una serie de gastos que deben ser tenidos en cuenta junto con los costes de inversión, ya que el desarrollo de la actividad supone un coste en personal, consumibles, etc.
  Estos costes serán tenidos en cuenta de forma anual durante el tiempo que esté operando la planta.

COSTE DE EXPLOTACIÓN		
ELEMENTO	**DESCRIPCIÓN**	**COSTE (€/año)**
Electricidad	Funcionamiento de la planta	250.000
Gas Natural	Para energía térmica del digestor	6.000
Mantenimiento Planta		80.000
Upgrading Biogás	Proceso y mantenimiento	100.000
Inyección Red	Mantenimiento	30.000
Complementos proceso	Carbón activo, $FeCl_3$, reactivos digestato	25.000
Personal		200.000
Consumibles, Agua		8.000
Costes Operación	Administración, seguros, etc	50.000
Coste cesión terreno		4.500
Tasas Atributos		7.000
Transporte	Transporte y aplicación en campo	150.000
	COSTE TOTAL	910.500,00 €

Tabla 1.10. Desglose coste explotación *(elaboración propia)*

Los costes de operación se han realizado teniendo en cuenta datos aproximados, los cuales se han dimensionado acorde a la envergadura del presente proyecto, con el fin de tomar como base para la realización del estudio económico.

Se han tomado precios de distintos proyectos y de distintas fuentes, escalando estos a las características del presente proyecto con el fin de hacerlos más reales.

1.2.3. Consideraciones sobre la carga del digestor

Los digestores pueden operar con cargas de sustratos diferentes, pero se debe tener cuidado con las cantidades introducidas de cada uno ya que puede dar lugar a problemas, como la aparición de compuestos tóxicos o inhibidores, cambios en el pH, acidificación u otros fallos en el reactor.

Dependiendo de la cantidad y características de la materia orgánica, la mezcla se manejará de una forma u otra.

2. ESTUDIO ECONÓMICO – FINANCIERO

Una vez se conoce la capacidad de generación de biogás de la planta y los costes de inversión y de explotación de ésta, se puede hacer una estimación de los flujos de caja, calcular el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR).

El estudio se realizará tomando una vida útil de equipos de 15 años.

2.1. FLUJOS DE CAJA

Al tratarse de un proyecto enmarcado dentro de los marcos europeos asociados a la gestión de residuos, obtención de energía de origen renovable, y transporte o distribución de fertilizantes procedentes de materia orgánica, se estima una ayuda económica por parte del gobierno del 35% de la inversión por lo que, si descontamos la cantidad subvencionada, la inversión necesaria por parte del promotor del proyecto es de 3.474.250 €. Este dato será el valor de la inversión utilizado para realizar el estudio económico – financiero.

Se estiman unos beneficios por la venta del gas y del digestato, como fertilizante para uso agrícola, producidos en la planta para poder realizar los flujos de caja. El precio del MW se ha puesto acorde a la situación actual del mercado.

INGRESOS VENTA DE PRODUCTOS	
ELEMENTO	**INGRESOS (€/año)**
Venta Biometano (150€/MWh)	1.899.058
Ingresos por residuos	300.000
TOTAL	2.199.058

Tabla 2.1. Ingresos por producto *(elaboración propia)*

Los ingresos de la planta se han calculado para un escenario en el cual sólo se obtiene beneficio de la venta del gas y del digestato pero, como se verá en apartados posteriores, es posible sacarle un mayor rendimiento a la planta mediante pequeñas mejoras que pueden suponer grandes cambios en los flujos de caja.

Con los datos estimados de la inversión inicial, costes e ingresos podemos conocer los flujos de caja esperados durante los 15 años de vida útil de los equipos, y así por hacernos una primera impresión de la viabilidad del proyecto y los riesgos que puede suponer.

AÑO	GASTOS (€)	INGRESOS (€)	FLUJO DE CAJA (€)	FLUJOS DE CAJA TOTALES (€)
0	3474250	0	-3474250	- 3.474.250,00 €
1	910.500	2.199.058	1.288.558	- 2.185.692,00 €
2	910.500	2.199.058	1.288.558	- 897.134,00 €
3	910.500	2.199.058	1.288.558	391.424,00 €
4	910.500	2.199.058	1.288.558	1.679.982,00 €
5	910.500	2.199.058	1.288.558	2.968.540,00 €
6	910.500	2.199.058	1.288.558	4.257.098,00 €
7	910.500	2.199.058	1.288.558	5.545.656,00 €
8	910.500	2.199.058	1.288.558	6.834.214,00 €
9	910.500	2.199.058	1.288.558	8.122.772,00 €
10	910.500	2.199.058	1.288.558	9.411.330,00 €
11	910.500	2.199.058	1.288.558	10.699.888,00 €
12	910.500	2.199.058	1.288.558	11.988.446,00 €
13	910.500	2.199.058	1.288.558	13.277.004,00 €
14	910.500	2.199.058	1.288.558	14.565.562,00 €
15	910.500	2.199.058	1.288.558	15.854.120,00 €

Tabla 2.2. Flujos de caja *(elaboración propia)*

Tal y como podemos observar en la tabla, la inversión se amortizaría al cuarto año, en el cual se empezarían a obtener beneficios que pueden utilizarse para seguir desarrollando la planta, hacerla más eficiente y obtener aún más beneficio.

2.2. CÁLCULO DEL VAN

Tras conocer los flujos de caja estimados podemos proceder al cálculo del Valor Actual Neto (VAN), para el cual se cuenta con los siguientes datos [29]:

- Inversión inicial (I_0): 3.474.250 €
- Flujo de caja del proyecto (FC)
- Tasa de descuento (i): 12%
- Tiempo (t)
- Vida útil del proyecto (n): 15 años

Para calcular el VAN utilizaremos la siguiente fórmula:

$$VAN = \sum_{t=1}^{t=n} \frac{FC_t}{(1+i)^t} - I_0 \quad \rightarrow \quad VAN = \left(\frac{FC_1}{(1+i)^1} + \frac{FC_2}{(1+i)^2} + \cdots + \frac{FC_n}{(1+i)^n}\right) - I_0$$

Sustituyendo los valores de la ecuación con los datos iniciales obtenemos el valor del VAN:

VAN = 25.347.406,22 €

Como el VAN > 0, el proyecto se puede aceptar ya que es viable económicamente por lo que calcularemos la TIR.

2.3. CÁLCULO DE LA TIR

Para calcular la TIR, la cual mide la rentabilidad como un porcentaje, se debe igualar el VAN a 0.

$$\sum_{t=1}^{t=n} \frac{FC_t}{(1+i)^t} - I_0 = 0 \quad \rightarrow \quad \left(\frac{FC_1}{(1+i)^1} + \frac{FC_2}{(1+i)^2} + \cdots + \frac{FC_n}{(1+i)^n}\right) - I_0 = 0$$

Despejando el valor de i de la ecuación obtenemos la TIR del proyecto:

TIR = 35,44%

Como el valor de la TIR es mayor a la tasa de descuento (TIR > i), el proyecto se puede aceptar.

3. POSIBLE IMPLANTACIÓN DE MODELO DE NEGOCIO

A una planta de biogás se le pueden realizar mejoras, una vez la planta ya está en funcionamiento, para hacerla más eficiente o más rentable. En este apartado se verá una serie de opciones que pueden ayudar a mejorar el proceso, abaratar costes e incluso obtener beneficios extra asociados al proceso.

3.1. PLANTA DE COGENERACIÓN

Para poder dotar a la planta de mayor eficiencia, y con una mayor rentabilidad del proceso, es posible incorporar a la planta un proceso de cogeneración en el cual, aprovechando una parte del gas generado, instalar una capacidad suficiente para generar la energía eléctrica necesaria para el correcto funcionamiento de todos los elementos de la planta de biogás y upgrading, y la energía térmica demandada por el proceso que se debe enviar a los digestores con el fin de mantener la temperatura adecuada para la correcta digestión anaerobia de los sustratos por parte de los microorganismos.

Se trata de una mejora factible de llevar a cabo una vez la planta esté en funcionamiento, ya que no tiene una gran complicación técnica ni requiere grandes extensiones de terreno. Conociendo la demanda energética del proyecto, datos que serán conocidos de antemano, sería necesario incorporar un motor de combustión interna que genere la electricidad y energía térmica necesarias.

Además, se presenta la posibilidad de una vez conocida la generación máxima de biogás que es posible llevar a cabo en la planta, aprovechar el posible exceso de gas para inyectar la energía eléctrica a la red y obtener un beneficio de ello.

La incorporación de una planta de cogeneración supone un ahorro importante en el consumo de energía eléctrica y térmica además de hacer que la planta sea capaz de autoabastecerse de dicha energía sin necesidad de depender de terceros, por lo que la planta sería mucho más eficiente en todo el proceso.

3.2. SECADO DE DIGESTATO

Los residuos generados tras el proceso de obtención de biogás, también conocidos como digestato, son de muy buena calidad para utilizar como fertilizantes, tal y como se detalló en apartados anteriores.

Utilizando el calor generado gracias a una caldera en la cual quemar una pequeña porción del gas generado por la planta, podemos secar estos lodos para utilizarlos como fertilizantes secos, los cuales son también demandados.

Esta mejora puede llevarse a cabo junto con la mejora indicada anteriormente de añadir un proceso de cogeneración a la planta, ya que el calor generado se puede ser utilizado para el secado.

Con el secado del digestato conseguimos que sea más fácil de almacenar e incluso de distribuir, ya que no sería necesario el transporte en cisterna y sería factible comercializarlo en sacas para conseguir también la venta a particulares y uso doméstico, ya que tendrían la posibilidad de comprar pequeñas cantidades de un fertilizante de gran calidad para usar en huertos, plantas, etc.

3.3. PRETRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS PARA MEJORAR LA DIGESTIÓN ANAEROBIA

Para conseguir un mayor aprovechamiento de los residuos utilizados y, por lo tanto, una mayor generación de biogás es posible realizar un pretratamiento de las materias primas.

Estos pretratamientos suponen un coste adicional al proceso tanto en términos económicos como operativos, por lo que se debe realizar un estudio de las ventajas que puede aportar esta aparente mejora con el fin de conocer su viabilidad y aumento en los beneficios finales. Al tratarse de una propuesta de mejora, no se realizará dicho estudio de viabilidad, por no ser el objetivo del presente proyecto.

A continuación se enumerarán una serie de posibles tratamientos de los residuos añadiendo una breve descripción de cada uno [30,31].

- Pretratamiento mecánico: Su objetivo es reducir el tamaño de las partículas, lo cual se traduce en un aumento de la superficie específica disponible. Este tratamiento supone unos efectos para el proceso como la mejora de la producción de gas y, al reducir el tamaño de las partículas, puede aumentar la velocidad de digestión anaerobia. Las formas más destacadas de llevarlo a cabo es mediante trituración mecánica o mediante ultrasonidos.

- Pretratamiento térmico: La materia prima es calentada a temperaturas de entre 100ºC y 200ºC con el fin de favorecer la degradación y solubilizar e higienizar la materia orgánica. De esta forma se puede disminuir el volumen del digestor y mejorar la producción de biogás. Entre los métodos utilizados destacan la explosión de vapor y el agua líquida a alta tempertura.

- Pretratamiento químico y termoquímico: Se agregan compuestos químicos con el fin de reducir los compuestos orgánicos poco biodegradables con el fin de conseguir una mejora en la producción de biogás y la tasa de hidrólisis. Este método se puede utilizar para ajustar el pH de sustratos ácidos. El resultado obtenido depende del tipo de método y de las características de los sustratos. Los métodos más utilizados son la hidrólisis ácida, la oxidación húmeda, el tratamiento con ozono y el tratamiento con solventes orgánicos.

- Pretratamiento biológico: Se inoculan bacterias específicas o enzimas para conseguir la degradación de determinados compuestos y así mejorar la etapa de hidrólisis antes del proceso de digestión. Un ejemplo de este pretratamiento es el ensilado de la materia orgánica.

4. BIBLIOGRAFÍA

[1] https://verdeyazul.diarioinformacion.com/la-renovable-mas-ignorada-el-biogas.html
[2] https://blog.bioplat.org/2021/01/29/biogas-en-europa-francia-crece-y-espana-se-estanca/
[3] https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/ganaderia/encuestas-ganaderas/
[4] http://www.aytovaldaliga.org/valdaliga.html
[5]https://www.enagas.es/enagas/es/Transporte_de_gas/TransporteYOperacion/MapaInfraestructuras
[6] https://www.aebig.org/biometano/
[7] https://www.redagricola.com/cl/lo-basico-entender-biogas/
[8] http://energiza.org/index.php?option=com_k2&view=item&id=1218:sistemas-de-calefacci%C3%B3n-con-biog%C3%A1s
[9] https://www.gruppoab.com/es/cogeneracion-de-biogas/
[10] https://www.aqualimpia.com/digestion-anaerobica/
[11] https://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf
[12] https://www.weltec-biopower.es/centro-de-informaciones/biogas/como-funciona-una-planta-de-biogas.html
[13] https://geniabioenergy.com/biogas-y-biodigestores-tipos-ventajas-y-beneficios/
[14] https://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/uso-termico/biogas
[15] https://www.gasrenovable.org/proyecto/valdemingomez/
[16] https://www.iea.org/reports/outlook-for-biogas-and-biomethane-prospects-for-organic-growth/an-introduction-to-biogas-and-biomethane
[17] https://www.power-technology.com/features/biogas-pros-and-cons/
[18] https://biovec.net/
[19] https://www.youtube.com/watch?v=Vfpru30YOPM&t=263s
[20] https://www.youtube.com/watch?v=E-8Bghy1SBE
[21] https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/ct-menu-item-25/ct-menu-item-27/17-ciencia-hoy/408-la-acumulacion-de-estiercol-en-los-pastizales-ganaderos#:~:text=Una%20vaca%20adulta%20produce%2012,500%20kilos%20en%20tres%20meses
[22] https://www.icane.es/data/cattle-exploitation-municipal
[23] https://energypedia.info/images/4/46/Guide_to_Biogas-_From_Production_to_Use.pdf
[24] https://www.lemvigbiogas.com/BiogasHandbook.pdf
[25] https://www.fundacionnaturgy.org/wp-content/uploads/2016/12/1.-PIEDAD-MARTINEZ.pdf

[26]https://buleria.unileon.es/bitstream/handle/10612/5745/Dic2016_muimre_71455791N.pdf?sequence=1
[27]https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/27048/TFM%20Gonz%E1lez%20Cabrera,%20Ana%20Mar%EDa%20-%20copia.pdf;jsessionid=3D290F757A284E1FCD9F03B592F3C8FB?sequence=1&isAllowed=y
[28] http://femp.femp.es/files/3580-1917-fichero/Ponencia_Miguel%20%C3%81ngel%20Maga%C3%B1a.pdf
[29] https://ocw.unican.es/course/view.php?id=124
[30]https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/58610/2013fernatrata.pdf?sequence=1
[31] http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2071-00542016000300009