



**Universidad  
Europea** MADRID

**UNIVERSIDAD EUROPEA DE MADRID**

**ESCUELA DE ARQUITECTURA, INGENIERÍA Y DISEÑO**

**GRADO EN INGENIERÍA EN SISTEMAS INDUSTRIALES**

**TRABAJO FIN DE GRADO**

**DISEÑO DE UNA PLANTA DE BIOGÁS**

**Alumna:** Ana María Fernández Vallejo

**Directora:** María José Terrón López

**JUNIO 2022**

**TÍTULO:** Diseño de una planta de biogás

**AUTORA:** Ana María Fernández Vallejo

**TITULACIÓN:** Grado en Ingeniería en Sistemas Industriales

**DIRECTORA DEL PROYECTO:** María José Terrón López

**FECHA:** 21 de JUNIO de 2022

## RESUMEN

En la actualidad, se está produciendo un aumento en la temperatura del planeta, para evitarlo es necesario una reducción radical de las emisiones de los gases de efecto invernadero que provienen del sector energético, lo que conlleva la descarbonización total del sector energético. Reemplazando los combustibles fósiles por energías renovables, el objetivo de este trabajo es la participación en el desarrollo de las energías renovables, con la implantación de una planta industrial autosostenible productora de biogás a partir de residuos equinos, mediante la digestión anaeróbica de los mismos. Para ello, se realizará un análisis selectivo de los procesos que intervienen en la producción de biogás, así como estudios de parámetros operativos y económicos, para la puesta en funcionamiento de la planta. Esto consta de un listado de equipos involucrados, precios de los equipos y de las materias primas. Además, se estima la estructura de costos fijos y variables, la inversión inicial y el análisis de la financiación del proyecto para observar la viabilidad de este. Los resultados obtenidos nos han permitido identificar la viabilidad tanto económica, social y medioambiental de la planta de biogás sabiendo la factibilidad del desarrollo del proyecto.

**Palabras clave:** gases de efecto invernadero, descarbonización, energías renovables, biogás y viabilidad

## ABSTRACT

Nowadays, there is an increase in the temperature of the planet, and to avoid this, it is necessary to radically reduce greenhouse gas emissions from the energy sector, which entails the total decarbonization of the energy sector. Replacing fossil fuels by renewable energies, the objective of this work is the participation in the development of renewable energies, with the implementation of a self-sustainable industrial plant producing biogas from equine waste, through anaerobic digestion of the same. For this purpose, a selective analysis of the processes involved in the production of biogas will be carried out, as well as studies of operational and economic parameters, for the start-up of the plant. This consists of a list of the equipment involved, equipment and raw material prices. In addition, the structure of fixed and variable costs, the initial investment and the analysis of the financing of the project are estimated in order to observe the feasibility of the project. The results obtained have allowed us to identify the economic, social, and environmental viability of the biogas plant, knowing the feasibility of the project development.

**Key words:** greenhouse gas, decarbonization, renewable energies, biogas and viability.

## **AGRADECIMIENTOS**

La elaboración de este trabajo ha sido posible gracias a la cooperación de Borja Martín Fabiani en el desarrollo de la idea principal del proyecto y por el apoyo brindado a esta iniciativa. Asimismo, se agradece en forma especial, la contribución en la redacción y coordinación de este trabajo de final de grado a la tutora María José López Terrón.

# Índice

RESUMEN	3
ABSTRACT	3
Capítulo 1. INTRODUCCIÓN	9
1.1 Energías Renovables en España	11
1.2 Biogás	13
1.3 Objetivos del proyecto	15
1.4 Estructura del proyecto	15
Capítulo 2. MARCO TEÓRICO	17
2.1 Digestión anaeróbica	17
2.1.1 Etapa hidrolítica	18
2.1.2 Etapa acidogénica	18
2.1.3 Etapa acetogénica	19
2.1.4 Etapa metanogénica	19
2.2 Composición de biogás en función del tipo de sustrato	19
2.2.1 Residuos agrícolas	20
2.2.2 Residuos de la industria alimentaria	20
2.2.3 Residuos de mataderos	21
2.2.4 Residuos pesqueros	21
2.2.5 Lodos de depuradora o agua residuales	21
2.2.6 Residuos ganaderos	21
2.3 Usos del biogás	22
2.3.1 Generación de energía eléctrica	23
2.3.2 Transformación de biogás en biometano	23
2.3.3 Propulsión de vehículos en la industria del transporte	26
2.3.4 Como combustible para estufas de gas domésticas y para grupos electrógenos portátiles	26
Capítulo 3. ANÁLISIS DEL ENTORNO	27
1.1 Problemas planteados en la atmósfera	27
3.1.1 El dióxido de carbono	27
3.1.2 El metano	27
3.1.3 El amoniaco	28
3.1.4 Los olores	28

---

1.2	Localización de la planta del biogás	28
1.3	Cercanía y disponibilidad de residuos equinos	30
1.4	Acceso a la red eléctrica	31
1.5	Marco legal	33
3.1.5	Normativas sanitarias	33
3.1.6	Normativas de la utilización del biogás	34
3.1.7	Normativas del uso agrícola del digestato	34
3.1.8	Normativas medioambientales	35
Capítulo 4.	<b>FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE BIOGÁS</b>	36
4.1	Recepción y sistema de alimentación	36
4.2	Estudio de los equipos para la producción de biogás	37
4.2.1	Reactor de mezcla completa sin recirculación	37
4.2.2	Reactor de mezcla completa con recirculación	37
4.2.3	Reactor de flujo pistón	38
4.3	Tipos de tratamiento del biogás según el uso del biogás	41
4.4	Tipo de riesgo de fallos en la planta de biogás	43
Capítulo 5.	<b>RESULTADOS FINALES DE LA PLANTA DE BIOGÁS</b>	45
5.1	Cálculo de la producción de biogás	45
5.2	Cálculo del volumen de digestión	46
5.3	Almacenamiento del biogás	47
5.4	Cálculo de la producción de biogás y energía eléctrica	49
5.5	Costes de producción	50
Capítulo 6.	<b>ANÁLISIS DEL PROYECTO</b>	52
6.1	Análisis DAFO	52
6.2	Planificación del proyecto	54
6.3	Impacto medioambiental y social	56
6.4	Análisis financiero	57
6.4.1	Inversión en activos fijos	57
6.4.2	Capital de trabajo	62
6.4.3	Inversión total	63
6.4.4	Costes de operación	63
6.5	Cronograma de actividades	67
6.6	Seguridad de procesos	68
6.7	Financiación del proyecto	79
Capítulo 7.	<b>CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO</b>	81
	<b>ANEXOS</b>	83
	<b>PRESUPUESTO</b>	88
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	89

# Índice de Figuras

Figura 1: Evolución de las emisiones de gases efecto invernadero en España (Santamarta, 2021) .....	11
Figura 2: Porcentaje de energía procedente de fuentes renovables sobre el consumo final de energía en España de 2004 a 2020 (Orús, 2022) .....	12
Figura 3: Consumo nacional bruto de energías renovables en España en 2020, por tipo (Orús, 2022) .....	12
Figura 4: Fases del proceso de digestión anaeróbica (IDAE, 2011).....	18
Figura 5: Lavado con agua o PWS (Biogás Upgrading, 2020) .....	24
Figura 6: Separación por presión o PSA (Biogás Upgrading, 2020).....	24
Figura 7: Separación con membranas (Biogás Upgrading, 2020) .....	25
Figura 8: Absorción química (Biogás Upgrading, 2020) .....	25
Figura 9: Localización de la planta (Google Maps, 2022).....	29
Figura 10: Superficie total (Google Maps, 2022).....	29
Figura 11: Trayecto desde la finca particular hasta la planta (Google Maps, 2022).....	31
Figura 12: Mapa de la red eléctrica zona de Toledo (Ree, 2018).....	32
Figura 13: Leyenda mapa eléctrico Figura 12 (Ree, 2018) .....	33
Figura 14: Esquema general de una planta de biogás (Red Agrícola, 2021).....	36
Figura 15: Esquema de reactores de mezcla completa (IDAE, 2007).....	38
Figura 16: Reactor de flujo de presión (IDAE, 2007) .....	38
Figura 17: Análisis DAFO (Elaboración propia).....	53
Figura 18: Esquema de planificación de la planta (Elaboración propia) .....	54
Figura 19: Costes variables y fijos (Elaboración propia).....	67
Figura 20: Costes de operación (Elaboración propia) .....	67
Figura 21: Cronograma de actividades (Elaboración propia).....	68

# Índice de Tablas

Tabla 1: Tipos de Energías renovables (Selectra, 2022).....	10
Tabla 2: Composición química del biogás (Bioeléctrica, 2019).....	17
Tabla 3: Composición del biogás según el origen del sustrato utilizado (CIEMAT, 2021) .....	20
Tabla 4: Comparativa residuos ganaderos (SEAE, 2022).....	22
Tabla 5: Características de los tipos de agitadores (Elaboración propia) .....	39
Tabla 6: Tipos de almacenamiento de biogás (Elaboración propia) .....	41
Tabla 7: Cálculo de la producción de biogás (Elaboración propia) .....	45
Tabla 8: Cálculo del volumen de digestión (Elaboración propia).....	46
Tabla 9: Almacenamiento del biogás (Elaboración propia) .....	47
Tabla 10: Cálculo de la producción de biogás y energía eléctrica.....	49
Tabla 11: Costes de producción (Elaboración propia) .....	50
Tabla 12: Activos fijos tangibles (Elaboración propia) .....	58
Tabla 13: Activos fijos intangibles (Elaboración propia) .....	59
Tabla 14: Análisis Guerchet (Elaboración propia) .....	60
Tabla 15: Inversión de equipos (Elaboración propia).....	61
Tabla 16: Método HAZOP en la cinta transportadora de sólidos (Elaboración propia).....	69
Tabla 17: Método HAZOP en la trituradora (Elaboración propia).....	69
Tabla 18: Método HAZOP en las bombas (Elaboración propia).....	70
Tabla 19: Método HAZOP en los compresores (Elaboración propia).....	70
Tabla 20: Método HAZOP en los biodigestores (Elaboración propia).....	71
Tabla 21: Método HAZOP en el sedimentador (Elaboración propia).....	71
Tabla 22: Método HAZOP en la caldera (Elaboración propia) .....	72
Tabla 23: Método HAZOP en el pasteurizador de sólidos (Elaboración propia).....	73
Tabla 24: Método HAZOP en el pasteurizador de líquidos (Elaboración propia) .....	74
Tabla 26: Método HAZOP en la torre de absorción (Elaboración propia) .....	75
Tabla 27: Método HAZOP en el tanque de venteo (Elaboración propia).....	75
Tabla 28: Hoja de seguridad del dióxido de carbono (Elaboración propia) .....	76
Tabla 29: Hoja de seguridad del metano (Elaboración propia).....	77
Tabla 30: Hoja de seguridad del ácido sulfhídrico (Elaboración propia).....	77
Tabla 31: Hoja de seguridad del amoniaco (Elaboración propia) .....	78
Tabla 32: Presupuesto final (Elaboración propia) .....	88

# Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

Cambio climático y energía son dos caras de la misma moneda, buena parte de las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI) provienen del sector energético en sus diversas formas. Es por ello por lo que la mejor solución al problema pasa por un cambio fundamental en el sistema energético, que en gran medida solo será posible con una mayor participación de las energías renovables.

Por lo tanto, dejar de emitir CO<sub>2</sub> significa dejar de utilizar combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural) para la producción de energía (ya sea para usos térmicos o eléctricos o de cualquier proceso) y reemplazarla por energías renovables. Esto es lo que se ha venido a denominar como descarbonizar el sistema energético. Dado que la energía ha sido el motor del desarrollo humano en sus diferentes dimensiones, esta descarbonización debe de extenderse a los sistemas económicos, sociales y ambientales. Es necesario cambiar radicalmente el sistema energético, y este debe hacerse a una velocidad sin precedentes. En caso contrario no se llegará a tiempo para detener el cambio climático.

Así pues, el sector energético es el principal emisor de CO<sub>2</sub>. Por tanto, si queremos evitar un aumento en la temperatura del planeta, es necesaria una reducción radical de las emisiones, lo que conlleva la descarbonización total del sector energético. Como consecuencia a este problema se va a llevar a cabo el diseño una planta industrial productora de biogás a partir de residuos equinos, mediante la digestión anaeróbica de los mismos.

El biogás y el biometano son fuentes de energías renovables indispensables para la implementación de la actual transición energética y la lucha contra el cambio climático. Estas *gases verdes* ayudan a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero de tres maneras diferentes.

En primer lugar, evitan las emisiones que se producen de manera natural: los residuos orgánicos son llevados al ambiente controlado de las plantas de biogás para producir energía. Esto evita que las emisiones de la descomposición de materia orgánica se liberen a la atmósfera.

En segundo lugar, el biogás y el biometano producidos reemplazan a los combustibles fósiles como fuentes de energía. En tercer lugar, el uso del digestato, obtenido en el proceso de producción de biogás, como biofertilizante ayuda a devolver el carbono orgánico al suelo y reduce el uso de fertilizantes minerales, cuya producción es intensiva en carbono.

Como se ha mencionado el biogás y el biometano son fuentes de energía renovable, es decir, energías que se obtienen a partir de fuentes naturales que producen energía de forma inagotable e indefinida. Ya sea por la gran cantidad de energía que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales. Entre las energías renovables destacan las cinco energías que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1: Tipos de Energías renovables (Selectra, 2022)

Energía renovable	Fuente	Tecnologías	Aplicaciones
Energía solar	Sol	Fotovoltaica, termosolar	Electricidad, calefacción, refrigeración
Energía eólica	Viento	Turbinas eólicas	Electricidad
Energía hidroeléctrica	Agua	Centrales hidroeléctricas	Electricidad
Energía geotérmica	Tierra	Sistemas geotérmicos superficiales y bombas de calor	Electricidad, calefacción y refrigeración
Bioenergía	Biomasa	Combustión de biomasa, plantas de biogás, biocarburantes	Electricidad, calefacción y refrigeración, transporte

Estas energías renovables que se muestran en la Tabla 1, además de ser energías inagotables, no producen gases de efecto invernadero (GEI), que son los principales causantes del cambio climático, ni emisiones contaminantes por lo que tienen un impacto ambiental muy escaso. Las energías renovables son fuentes de energía limpias.

Así pues, las energías renovables presentan numerosas ventajas económicas, ambientales y sociales (Ivette, 2021).

Las ventajas ambientales son:

- Emisión prácticamente nula de gases de efecto invernadero y otros contaminantes que contribuyen al cambio climático.
- Disminuyen enfermedades relacionadas con la contaminación.
- Pueden llegar a lugares remotos del mundo.
- Recursos naturales gratuitos e inagotables.

Ventajas económicas:

- Reducción de las tarifas en los servicios de luz, agua y gas.
- Potencian el autoconsumo.
- Creación de puestos de trabajo.

Ventajas sociales:

- Reducen la dependencia energética frente a otros países.
- Seguridad para la salud.
- La posibilidad de llevar energía eléctrica a comunidades remotas, y en la promoción del desarrollo de dichas comunidades.

Pese a que son más las ventajas que los inconvenientes de las energías renovables, si las comparamos con cualquier otro tipo de fuente energética. También tiene algunas desventajas, tales como:

- Dependencia de fenómenos atmosféricos.
- Impacto arquitectónico.
- Gran inversión inicial.
- Efectos negativos sobre el ecosistema.
- Diversidad geográfica de los recursos.

## 1.1 Energías Renovables en España

Según el problema expuesto sobre el cambio climático y la producción de energía como principal emisor de los gases de efecto invernadero.

Se presenta en la Figura 1, un análisis de la evolución de las emisiones de gases efecto invernadero en España (1990-2020), con el fin de contrastar la reducción de estas emisiones con el aumento de la participación del consumo de energías renovables en España.

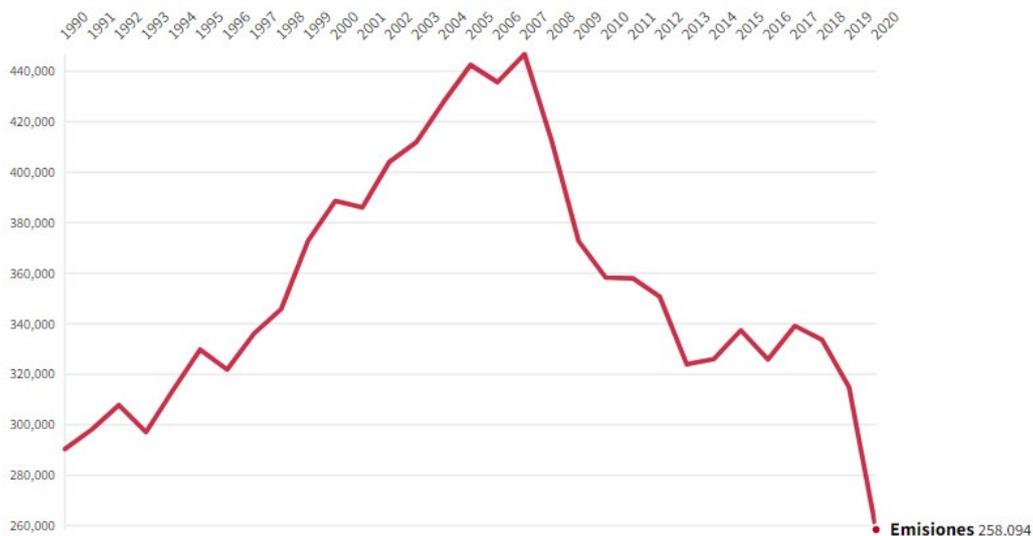


Figura 1: Evolución de las emisiones de gases efecto invernadero en España (Santamarta, 2021)

Como se observa en la Figura 1, presenta una gran reducción a partir del 2007 probablemente debido al aumento de las energías renovables en el país tal y como se refleja en la Figura 2. En ésta se muestra un diagrama de barras de la evolución anual del porcentaje de energía procedente de fuentes renovables sobre el consumo bruto final de energía en España de 2004 a 2020.

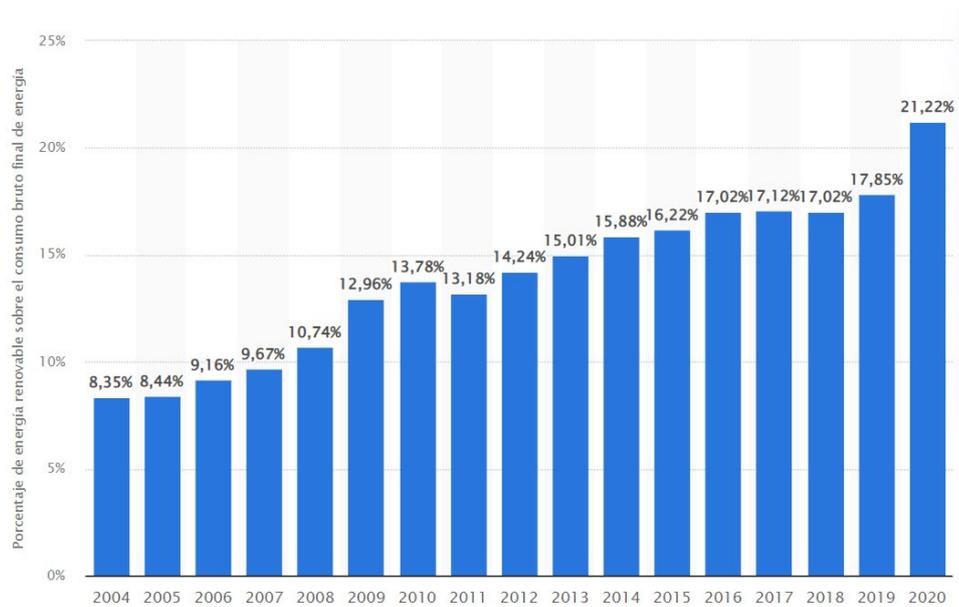


Figura 2: Porcentaje de energía procedente de fuentes renovables sobre el consumo final de energía en España de 2004 a 2020 (Orús, 2022)

En el gráfico de barras de la Figura 2, se observa en 2020 un máximo absoluto en el consumo bruto de energías provenientes de fuentes renovables sobre el consumo final de energía. Con el objetivo de conocer la distribución del consumo nacional bruto de energías renovables en España en 2020 (en miles de toneladas de petróleo), se va a analizar el gráfico de la Figura 3. En el que se ve reflejado que el máximo consumo bruto nacional proviene de la energía de biomasa, y un consumo mínimo de biogases, fuente de energía renovable indispensable para la implementación de la actual transición energética y la lucha contra el cambio climático. Por ello la implantación de la planta de biogás para contribuir en el desarrollo de esta fuente de energía.

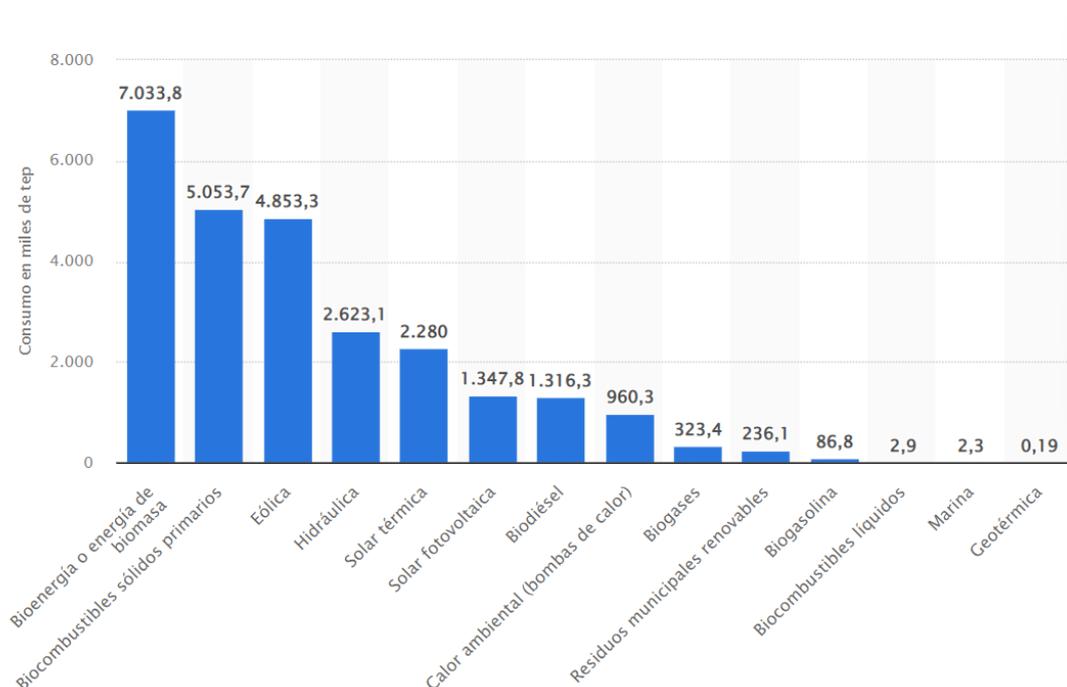


Figura 3: Consumo nacional bruto de energías renovables en España en 2020, por tipo (Orús, 2022)

En España, existe una normativa muy generosa para incentivar los proyectos de energía eólica y fotovoltaica, que discriminan al biogás a pesar su gran potencial en recursos biomásicos generando anualmente 49 millones de toneladas de residuos ganaderos, 7 millones de toneladas de residuos alimentarios y 9 millones de toneladas de residuos de agricultura. Encontrándose al final del ranking europeo en la generación de biometano y biogás (Smallops, 2022).

## 1.2 Biogás

El biogás es uno de los principales biocombustibles que se produce a partir de un proceso de metanización. Es decir, la biodegradación de la materia orgánica, vegetal o animal, mediante la acción de microorganismos en ausencia de oxígeno. El biogás es una fuente de energía alternativa 100% renovable. Como tal, contribuye a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y al desarrollo de las energías renovables y es, por tanto, un recurso energético especialmente prometedor para el futuro.

El origen del biogás se ha fijado alrededor del año 3.000 A.C. cuando los sumerios practicaban la limpieza anaerobia de los residuos. También hay datos que están basados en el relato del viaje de Marco Polo a China de 1278 a 1295 en el libro *Divisament du monde* en el que se describen unos tanques cubiertos en donde se almacenaban las aguas residuales en la antigua China. Hay otras fuentes que citan el calentamiento de agua en los baños públicos asirios como el primer uso de biogás en el siglo X A.C.

Haciendo una revisión histórica de los hitos del biogás podríamos destacar los siguientes años:

- **1776:** Volta descubrió que el principal compuesto del gas natural era metano, a partir del estudio científico de la formación de gases inflamables en los pantanos.
- **1804:** John Dalton descubrió la fórmula química del metano.
- **1808:** Humphrey Davy, químico inglés, produce gas metano en un laboratorio con estiércol de ganado.
- **1821:** Avogadro describe por primera vez la estructura química final del metano (CH<sub>4</sub>)
- **1875:** Popoff determina que el aumento de la temperatura estimula la producción de gas y que la composición de este no depende de la temperatura de producción.
- **1887:** Hoppe-Seyler comprobó la formación de metano a partir de acetato.
- **1888:** Gayon obtuvo gas al mezclar estiércol y agua a 35°C, sin la presencia de oxígeno
- **1894:** Pasteur afirmó que la proporción de producción de biogás obtenida por sus experiencias podía ser suficiente para cubrir los requisitos de energía para la iluminación de las calles de París
- **1920:** Imhoff puso en práctica el primer biodigestor en Alemania.
- **1936:** Buswell realizó avances en la producción de biogás a partir de la digestión estiércol combinado con diferentes tipos de desechos orgánicos, el cual fue el primer proceso de co-digestión.
- **1938:** Fue desarrollada la primera planta de producción de biogás a escala completa por Isman y Ducellier en Argelia. Esta operaba con desechos sólidos como sustrato.
- **1940:** en los Estados Unidos se empleó el término de “digestión anaeróbica” como una parte del tratamiento de las aguas residuales, generando metano que fue utilizado para generar electricidad para las propias plantas de depuración.

- **Después de la II Guerra Mundial** se construyeron alrededor de 40 digestores en Europa.
- **1970:** tuvo lugar la segunda oleada de construcciones de digestores a raíz de la Crisis del Petróleo.

Pese a ser el biogás un combustible que constituye una fuente de energía renovable con múltiples aplicaciones respetuosas con el medio ambiente, y tener multitud de usos como alternativa a los combustibles fósiles y otros elementos contaminantes. El número de plantas de biogás en España por habitante es uno de los más bajos del continente europeo. De hecho, en un informe del año 2019 (Genia Bioenergy, 2019) se destacaba que disponemos de 4 por cada millón de habitantes. En España se contabilizan unas 200 plantas, mientras que Europa cuenta con más de 18.000 instalaciones a pleno funcionamiento, de las que más de 10.000 están construidas en suelo alemán, uno de los países precursores.

En cuanto al consumo, aunque las energías renovables generan ya cerca del 40% de la electricidad en España, predominan la energía hidroeléctrica y la eólica pero el biogás contribuye solo con el 0,3%, según el balance eléctrico del Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (Montañez, 2021). Sin embargo, la materia prima no es escasa. En términos de extensión agrícola, España ocupa el segundo lugar en Europa después de Francia, con más de 25 millones de hectáreas ocupadas. El sector porcino español representa el 15% del total de la Unión Europea, siendo el segundo mayor productor de carne de cerdo después de Alemania.

Cataluña, Madrid y Castilla León son las tres comunidades autónomas con más instalaciones de producción de biogás y biometano. Aunque el número de plantas de biogás en España es bastante reducido, se prevé que el país tendrá antes de que acabe 2022 doce plantas de biometano en explotación, frente a las cinco que hay en la actualidad, y para 2024 un total de 64, aunque seguirá muy por debajo de países como Francia o Alemania. En 2024, se prevé llegar a las 64 plantas de biometano en explotación, que generarán 2.077 gigavatios/hora (GWh) al año, frente a los 162 GWh por año actuales (El Periódico de la Energía, 2022).

Aunque el número de plantas de biogás en España por habitante es uno de los más bajos de Europa, la utilidad de este es similar a la de cualquier gas obtenido de minerales fósiles, pero con la ventaja de que su fuente es inagotable. Además, a diferencia de otras energías renovables una de las principales ventajas que tiene la generación de biogás es que es independiente de las condiciones climáticas. Esto implica que una planta productora de biogás puede instalarse en cualquier sector del país y generar de forma continua energía eléctrica a lo largo de las 24 horas del día durante los 365 días del año.

Haciendo un análisis de los impactos del biogás diríamos que los impactos positivos del biogás son:

- Reducción de emisión de gases de efecto invernadero.
- Reducción significativa de malos olores.
- Recuperación de los residuos orgánico.
- La creación de puestos de trabajo en el sector agrícola.
- Favorece el autoconsumo energético, cumpliendo con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 7, de acceso universal a la energía.
- Contribución a la descarbonización del modelo energético.
- Disminución del uso de los fósiles y la dependencia energética.

Mientras que las desventajas del biogás son pocas frente a los beneficios que presenta:

- El almacenamiento del biogás es bastante caro y complejo.

- Emisión de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

### 1.3 Objetivos del proyecto

El número de plantas de biogás en España es bastante reducido, se prevé que el país tendrá antes de que acabe 2022 doce plantas de biometano en explotación, y en 2024, se prevé llegar a las 64 plantas de biometano en explotación. El biogás como fuente de energía limpia en España se enfrenta al desafío de aumentar su suministro energético para alcanzar las esperadas metas de crecimiento y llegar a ser un país autosostenible energéticamente. Además, de luchar contra las emisiones de los gases de efecto invernadero que provienen del sector energético en sus diversas formas.

Es por ello por lo que la mejor solución al problema pasa por un cambio fundamental en el sistema energético, que en gran medida solo será posible con una mayor participación de las energías renovables.

Por lo tanto, el objetivo general de este proyecto es diseñar una planta industrial productora de biogás a partir de residuos equinos, mediante la digestión anaeróbica de los mismos.

La planta pretende ser ubicada en el municipio de Burguillos de Toledo en la provincia de Toledo, localizado en la comunidad autónoma de Castilla-La Mancha. Para ello, se realizará un análisis selectivo de los procesos que intervienen en la producción de biogás, así como estudios de parámetros operativos y económicos, para la puesta en funcionamiento de la planta. Esto consta de un listado de equipos involucrados, precios de los equipos y de las materias primas. Además, se estima la estructura de costos fijos y variables, la inversión inicial y el análisis de la financiación del proyecto para observar la viabilidad de este.

Por tanto, este objetivo principal se desglosa en los siguientes objetivos específicos:

- Realizar el análisis bibliográfico de las principales publicaciones referentes a la temática.
- Establecer los fundamentos teóricos-prácticos adecuándolos al caso estudiado.
- Caracterizar la situación actual y las condiciones para la ejecución de la planta de biogás.
- Calcular las dimensiones fundamentales, que permitan la selección y diseño del biogás.
- Valorar los resultados y los impactos económicos, sociales y ambientales del biogás.

### 1.4 Estructura del proyecto

El presente proyecto está estructurado en siete capítulos.

Tras el planteamiento del problema y los objetivos perseguidos, en el segundo capítulo se explica el marco teórico del biogás, en el que se hace referencia a la digestión anaeróbica y sus cuatro etapas, la composición del biogás en función del tipo de sustrato utilizado como materia prima y los usos del biogás. El tercero describe brevemente el análisis del entorno, explicando con detalle los problemas atmosféricos, la localización y climatología de la ubicación de la planta, la cercanía y disponibilidad de los residuos equinos, el acceso a la red eléctrica y el marco legal con las normativas medioambientales, sanitarias, de la utilización del

---

biogás y del uso agrícola del digestato. En el capítulo cuatro se aborda el funcionamiento de la planta de biogás, donde se hace el recorrido desde la entrada de la materia prima en la planta hasta su transformación en energía eléctrica. Dentro de este capítulo se lleva a cabo el estudio especializado de los equipos que van a ser utilizados para la producción de biogás, así como también los tipos de tratamiento de este en función de su uso posterior y los riesgos de fallo en la operación y en los procesos biológicos.

Utilizando los conceptos presentados en los capítulos anteriores, en el quinto se realizan los cálculos asociados con la planta de biogás. Se calcula el biogás producido de los residuos equinos, el volumen total de biomasa, el volumen de cada digestor, el cálculo de la producción de energía eléctrica conseguido mediante el biogás producido y los costes de producción. Por su parte, el sexto capítulo da la evaluación financiera del proyecto de biogás, incluyendo las inversiones y costos, la planificación del proyecto con un análisis externo e interno, un cronograma de actividades como esquema de la planificación del proyecto en año y medio, la seguridad en la planta y la financiación bancaria y por subvenciones del proyecto. A modo de resumen de los antecedentes contenidos en la presente guía, el capítulo siete termina con una conclusión del proyecto que se va a llevar a cabo y las futuras líneas de trabajo.

## Capítulo 2. MARCO TEÓRICO

La generación de energía a partir de combustibles fósiles ocasiona problemas ambientales tales como los mencionados anteriormente, el calentamiento global y la contaminación atmosférica por emisión de gases tóxicos. A su vez, estos recursos fósiles son limitados debido a que no son renovables. Por ello, el desarrollo de fuentes energéticas renovables y sostenibles como es el caso de los biocombustibles, que a diferencia de los combustibles fósiles su formación no requiere miles de años.

El biogás es uno de los principales biocombustibles que se genera por las reacciones de biodegradación de la materia orgánica en ausencia de oxígeno. Esta reacción se realiza en un reactor digestor de desechos orgánicos, llamada biodigestor. Dentro del cual se depositan los residuos orgánicos diluidos con agua, que se mezclan y mediante la degradación anaerobia por acción de microorganismos, se obtiene biogás.

La composición química del biogás se estima entre 54 - 70% de metano, 27 - 45% de dióxido de carbono y aproximadamente el 5% de trazas de otros gases considerados impurezas, como sulfuro de hidrógeno, hidrógeno y nitrógeno tal y como se puede observar en la Tabla 2.

*Tabla 2: Composición química del biogás (Bioeléctrica, 2019)*

GAS	PORCENTAJE DEL VOLUMEN TOTAL
Metano CH <sub>4</sub>	54 - 70
Dióxido de carbono CO <sub>2</sub>	27 - 45
Sulfuro de hidrógeno H <sub>2</sub> S	0 - 0,1
Hidrógeno H <sub>2</sub>	1 - 10
Nitrógeno N <sub>2</sub>	0,5 - 0,3

### 2.1 Digestión anaeróbica

La degradación anaeróbica de la materia orgánica es un proceso muy complejo tanto por el número de reacciones bioquímicas que tienen lugar como por la cantidad de microorganismos involucrados en ellas y los productos intermedios generados.

Esta degradación de la materia orgánica se divide en cuatro etapas: etapa hidrolítica, etapa acidogénica, etapa acetogénica y etapa metanogénica. En la

Figura 4 se muestra un esquema de las distintas fases del proceso de digestión anaerobia, que van a ser explicadas con profundidad en los siguientes apartados.

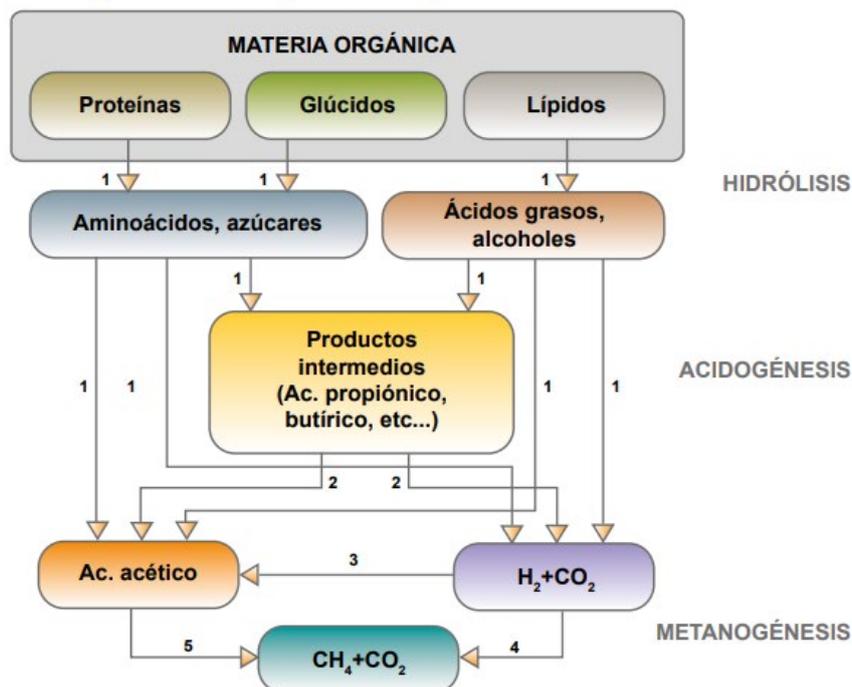


Figura 4: Fases del proceso de digestión anaeróbica (IDAE, 2011)

### 2.1.1 Etapa hidrolítica

En esta fase se descomponen las cadenas largas de materia orgánica (proteínas, glúcidos y lípidos) por la acción de bacterias hidrolíticas, y como resultado se producen compuestos solubles más sencillos (aminoácidos, azúcares, ácidos grasos de cadena larga y alcoholes) que serán metabolizados por las bacterias acidogénicas en la etapa posterior, como se refleja en el esquema de las fases de la Figura 4. La hidrólisis consiste en una transformación controlada por enzimas extracelulares, ya que actúan en el exterior celular.

La materia orgánica polimérica no puede ser utilizada directamente por los microorganismos a menos que se hidrolicen en compuestos solubles, que puedan atravesar la pared celular. La hidrólisis es el primer paso necesario para la degradación anaeróbica de sustratos orgánicos complejos. Por tanto, el proceso de hidrólisis proporciona sustratos orgánicos para la digestión anaeróbica. La hidrólisis de estas moléculas complejas es llevada a cabo por la acción de enzimas extracelulares producidas por microorganismos hidrolíticos.

Cualquier sustrato se compone de tres tipos de macromoléculas: glúcidos, proteínas y lípidos. Las proteínas constituyen un sustrato muy importante en el proceso de digestión anaeróbica debido a que además de ser fuente de carbono y energía, los aminoácidos derivados de su hidrólisis tienen un elevado valor nutricional. Las proteínas son hidrolizadas en péptidos y aminoácidos por la acción de enzimas proteolíticas llamadas proteasas.

### 2.1.2 Etapa acidogénica

En esta etapa se transforman los compuestos formados en la etapa anterior mediante las bacterias acidogénicas, en compuestos que puedan ser utilizados directamente por las bacterias metanogénicas y compuestos orgánicos más reducidos (ácido propiónico y butírico)

que tienen que ser oxidados por bacterias acetogénicas en la siguiente etapa del proceso. Estas bacterias son anaerobias, es decir, que pueden consumir oxígeno molecular para su metabolismo.

### **2.1.3 Etapa acetogénica**

En esta etapa los compuestos intermedios resultantes de la etapa acidogénica van a ser transformados por las bacterias acetogénicas, obteniéndose como productos principales hidrógeno, dióxido de carbono y ácido acético, que son los elementos precursores de las bacterias metanogénicas.

Representantes de los microorganismos acetogénicos son el *Syntrophobacterwolnij*, que descompone el ácido propiónico, y el *Syntrophomonas wolfei* que descompone el ácido butírico.

### **2.1.4 Etapa metanogénica**

Es la última etapa de la descomposición de la materia orgánica en condiciones anaeróbicas. Con la presencia del ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono aparecen los microorganismos responsables de la metanogénesis o formación del metano. Se distinguen dos tipos principales de microorganismos: los que van a degradar el ácido acético produciendo metano y dióxido de carbono (los metanógenos acetoclásticos), y los que a partir del hidrógeno y dióxido de carbono resultantes de etapas anteriores van a generar metano y agua, (los metanógenos hidrogenotrofos).

En esta etapa, un amplio grupo de bacterias anaeróbicas actúan sobre los productos resultantes de las etapas anteriores. Los microorganismos metanogénicos pueden ser considerados los más importantes dentro de los microorganismos anaerobios, ya que son los responsables de la formación de metano, siendo, además, los que dan nombre al proceso general de biometanización. Los microorganismos metanogénicos completan el proceso de digestión anaeróbica. Los organismos metanogénicos se clasifican dentro del dominio *Archaea* y tienen características comunes que los diferencian del resto de procariotas.

## **2.2 Composición de biogás en función del tipo de sustrato**

La fracción de metano contenida en el biogás varía entre 50 – 75% en volumen, dependiendo de los contenidos de grasas, carbohidratos y proteínas de los distintos sustratos. En la

Tabla 3 pueden observarse los principales componentes del biogás y los rangos en que varían sus diferentes concentraciones, dependiendo del origen del sustrato utilizado.

Tabla 3: Composición del biogás según el origen del sustrato utilizado (CIEMAT, 2021)

Componente	Residuos agrícolas y ganaderos	Lodos de EDAR	Residuos industriales	Vertederos de RSU
CH <sub>4</sub>	50 - 80%	50 - 80%	50 - 70%	45 - 65%
CO <sub>2</sub>	30 - 50%	20 - 50%	30 - 50%	34 - 55%
N <sub>2</sub>	0 - 1%	0 - 3%	0 - 1%	0 - 20%
O <sub>2</sub>	0 - 1%	0 - 1%	0 - 1%	0 - 5%
H <sub>2</sub>	0 - 2%	0 - 5%	0 - 2%	0 - 1%
CO	0 - 1%	0 - 1%	0 - 1%	Trazas
H <sub>2</sub> S	100 – 7.000 ppm	0 - 1%	0 - 8%	0.5 – 100 ppm
NH <sub>3</sub>	Trazas	Trazas	Trazas	Trazas
Vapor de agua	Saturación	Saturación	Saturación	Saturación
Orgánicos	Trazas	Trazas	Trazas	5 ppm

Como se observa en la Tabla 3: Composición del biogás según el origen del sustrato utilizado (CIEMAT, 2021), la fracción de metano contenida en el biogás varía dependiendo de los contenidos de grasas, carbohidratos y proteínas de los distintos sustratos. Estos diferentes tipos de sustratos serán explicados a continuación.

Dado que el biogás se genera por las reacciones de biodegradación de la materia orgánica en ausencia de oxígeno. Los sustratos que pueden usarse como materia orgánica deben ser líquidos, fermentables y que tengan una composición y concentración estable. Las principales fuentes de biogás son: residuos agrícolas, residuos de la industria alimentaria, residuos de mataderos, residuos pesqueros, lodos de depuradora o agua residuales y residuos ganaderos.

### 2.2.1 Residuos agrícolas

Los restos agrícolas se generan en entornos naturales y proceden de cultivos de maíz y cereales, así también como de frutales y viñedos. Como residuo orgánico procedente de la actividad primaria, tiene una gran importancia y capacidad para producir biocombustibles, como biogás y biometano, proporcionando soluciones energéticas de muchos tipos: electricidad, calor, combustible y como sustituto del gas natural.

### 2.2.2 Residuos de la industria alimentaria

Se trata de residuos provenientes de la industria alimentaria (restos de frutas y verduras, lactosuero, descartes de pescado, etc.). Para conseguirlo, se utilizan plantas de digestión anaerobia similares a las que se usan en el tratamiento de residuos agrícolas y ganaderos. En ocasiones, los residuos originados en la industria alimentaria se mezclan con purines y residuos agrícolas.

### **2.2.3 Residuos de mataderos**

Es un hecho que los mataderos generan enormes cantidades de residuos sólidos, con un alto contenido en lípidos y proteínas. Para sacarle el máximo partido a los residuos de los ganaderos se han mejorado los procesos de digestión anaeróbica y también se han desarrollado tratamientos químicos basados en la reacción de hidrólisis en caliente entre el ácido graso de los residuos y una base.

### **2.2.4 Residuos pesqueros**

Al igual que ocurre con los residuos orgánicos procedentes de mataderos, es también posible transformar en biogás los residuos provenientes de la industria pesquera.

### **2.2.5 Lodos de depuradora o agua residuales**

La implementación de nuevas tecnologías basadas en la separación de elementos líquidos y sólidos y procesos de secado avanzado ha logrado reconvertir desechos provenientes de las depuradoras (lodos, fangos y aguas residuales) en bioenergía generadora de energía eléctrica y térmica, así como biofertilizantes muy útiles por su gran calidad y fácil transporte.

### **2.2.6 Residuos ganaderos**

Dentro de los tipos de sustratos que han sido mencionados, nos vamos a centrar en los residuos ganaderos. Su principal ventaja es su amplia variedad de nutrientes y el pH de la mezcla. Aunque, tiene inconvenientes como su bajo contenido de carbono orgánico, y la posibilidad de contener elementos inhibidores como grandes cantidades de Cu o Zn. Entre estos se encuentran los purines, estiércoles y gallinaza.

- Purines de cerdo y vacas: se trata de la materia orgánica formada por los excrementos sólidos y líquidos del ganado, los restos de alimentos de los animales y las aguas residuales procedentes del lavado del conjunto de la explotación. Estos residuos se caracterizan por poseer un alto contenido de nitrógeno, que por lo general es mayor en el ganado porcino que en el vacuno. Tradicionalmente, han sido usados para fabricar abono y compost para las plantas.
- Gallinaza: es el excremento o estiércol procedente de las gallinas y tienen unas excelentes propiedades como abono y fertilizante.
- Estiércoles: el estiércol es un abono orgánico compuesto de excrementos de animales y, frecuentemente, material añadido en los espacios donde estos duermen y descansan, principalmente paja, serrín y matorrales. El estiércol está compuesto por: ácidos grasos volátiles (AGV), proteínas, polisacáridos y lípidos, entre otros materiales.

Tabla 4: Comparativa residuos ganaderos (SEAE, 2022)

Composicion ( % )	Vaca	Oveja	Gallinaza	Caballo	Cerdo ( Purin )
Materia Seca	23,00	25,00	22,00	25,00	5,20
Materia Organica	66,28	64,08	64,71	65,84	68,27
Nitrogeno ( N )	1,84	2,54	1,74	1,52	4,28
Fosforo ( P )	1,73	1,19	4,18	2,14	5,96
Potasio ( K )	3,10	2,83	3,79	2,98	5,17
Calcio ( Ca )	3,74	7,76	8,90	2,79	4,04
Magnesio ( Mgo )	1,08	1,51	2,90	0,97	0,96

En la Tabla 4 aparece una comparativa de las cantidades de nutrientes que aporta cada estiércol ganadero. Como se muestra, el sustrato equino representa un gran porcentaje de materia orgánica y materia seca en su composición, lo que es favorable para la producción del biogás. Dentro de los sustratos ganaderos, el que vamos a utilizar para la formación de biogás en nuestra planta va a ser el estiércol equino. Este depende fundamentalmente del tipo de metabolismo del animal y del tipo de alimentación. En general los herbívoros generan una gran cantidad de estiércol y el caballo es uno de ellos. Cada animal puede generar alrededor de 8-9 toneladas de estiércol cada año. Unos 15 kilos de estiércol y 4 litros de orina diarios.

Se considera un buen estiércol, equilibrado, con una fracción seca elevada, más que el de vaca, aunque menos que el de oveja y cabra. El estiércol de caballo está formado principalmente por excrementos del caballo mezclados con paja u otro material lignocelulósico utilizado como cama. El estiércol viene con unas condiciones bioquímicas muy inestables que no benefician de entrada al cultivo, entre ellas el nitrógeno amoniacal. Por ello necesita lo que se denomina un proceso de maduración o estabilización. Para llevar a cabo la estabilización del estiércol se puede mezclar con los llamados abonos verdes para conseguir una estabilización y equilibrios buenos. Otra manera de estabilización del estiércol de caballo es con la mezcla de cascarilla de arroz y el propio orín del equino (Crespo, 2022).

Si el estiércol se aplica directamente en el terreno de cultivo es necesario dejar pasar entre 1 y 4 meses hasta la plantación del cultivo para dejar tiempo a que madure y se estabilice junto con el suelo para que el nitrógeno se vaya mineralizando.

## 2.3 Usos del biogás

Como se ha comentado en el apartado 2.1, el biogás es un combustible en estado gaseoso que se genera a partir de la biodegradación de la materia orgánica en ausencia de oxígeno. La producción de este combustible constituye una fuente de energía renovable con múltiples aplicaciones respetuosas con el medio ambiente, con el fin de reducir los gases de efecto invernadero, combatiendo con el cambio climático.

El biogás tiene los siguientes usos como alternativa a los combustibles fósiles y otros elementos contaminantes: generación de energía eléctrica, transformación de biogás en biometano, propulsión de vehículos en la industria del transporte y como combustible para estufas de gas domésticas y para grupos electrógenos portátiles (Maldonado, 2021).

### **2.3.1 Generación de energía eléctrica**

Es el uso más común de todos los usos del biogás, y va a ser el uso principal de la planta de biogás que se va a llevar a cabo. La energía eléctrica que genera el biogás se genera a partir de la transformación de energía química en energía mecánica, la cual finalmente se convierte en electricidad. Esta electricidad puede utilizarse domésticamente o a nivel comercial, ya que puede producirse a gran escala o para ciertos sectores.

### **2.3.2 Transformación de biogás en biometano**

Junto a la generación de energía eléctrica, la transformación de biogás en biometano es uno de los usos principales de este. El biometano es un gas renovable que se obtiene a partir de un proceso de depuración del biogás. El biogás este compuesto por una mezcla entre 55% - 70% de metano y un 30% - 45% de dióxido de carbono. Por lo tanto, el biogás pasa por un proceso de purificación y enriquecimiento mediante el cual se incrementa la presencia de metano por encima del 90% para que el biogás adquiera la misma composición molecular que el gas natural, extraído a partir de yacimientos de restos fósiles, y este pasaría a denominarse biometano y sería apto para su inyección en la actual infraestructura de redes de gas.

Para que el biogás adquiera la misma composición molecular que el gas natural, este sufre un proceso que se denominada upgrading que transforma el biogás en biometano. Esta técnica tiene como finalidad que el biogás alcance las proporciones presentes del gas natural. Para ello, en primer lugar, se produce una separación del CO<sub>2</sub>, esta separación tendrá como consecuencia el incremento de la proporción del metano en el biogás y se produce haciendo uso de distintas tecnologías como adsorción por cambio de presión, absorción (en agua o en compuestos orgánicos) o mediante el uso de membranas, que serán explicadas a continuación (Biogás Upgrading, 2020):

- **Lavado con agua o PWS (Pressurized Water Scrubbing):** el principio de separación del CO<sub>2</sub> y el metano se basa en la diferente solubilidad de estos compuestos en el agua. Este proceso se resume en la Figura 5, donde el biogás pasa por un sistema de agua presurizada, de forma que, el dióxido de carbono queda disuelto en ella y el gas sale del proceso con un alto contenido en metano. Sin embargo, este biometano sale saturado y será necesario implementar un sistema de secado.  
El agua presurizada absorbe en un scrubbing la mayoría del CO<sub>2</sub> y el H<sub>2</sub>S. Posteriormente se somete a stripping con aire a presión para que libere los componentes absorbidos.  
El agua presurizada absorbe en un scrubbing la mayoría del CO<sub>2</sub> y el H<sub>2</sub>S. Posteriormente se somete a stripping con aire a presión para que libere los componentes absorbidos

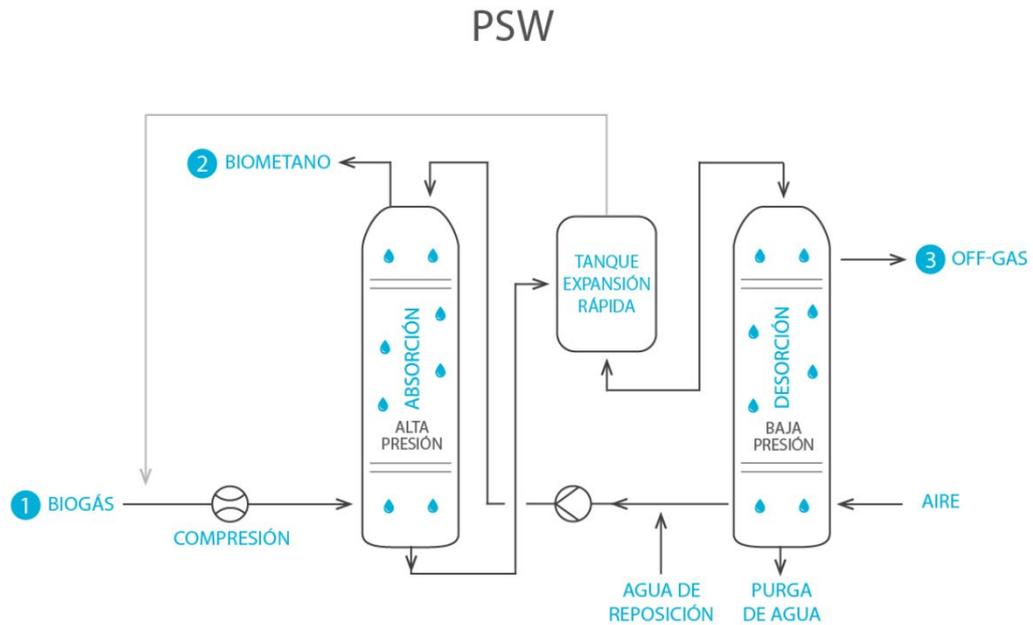


Figura 5: Lavado con agua o PWS (Biogás Upgrading, 2020)

- **Separación por presión o PSA (Pressure Swing Adsorption):** en la separación por presión de la Figura 6 se produce la circulación del biogás a presión a través de depósitos de carbón molecular, donde se adsorbe el  $\text{CO}_2$ . Las plantas de biometano que utilizan esta tecnología, por lo general, se componen de varias columnas trabajando en paralelo. Esta tecnología permite separar del metano prácticamente todo el  $\text{O}_2$  y  $\text{N}_2$ , hasta conseguir un biometano con alto poder calorífico.

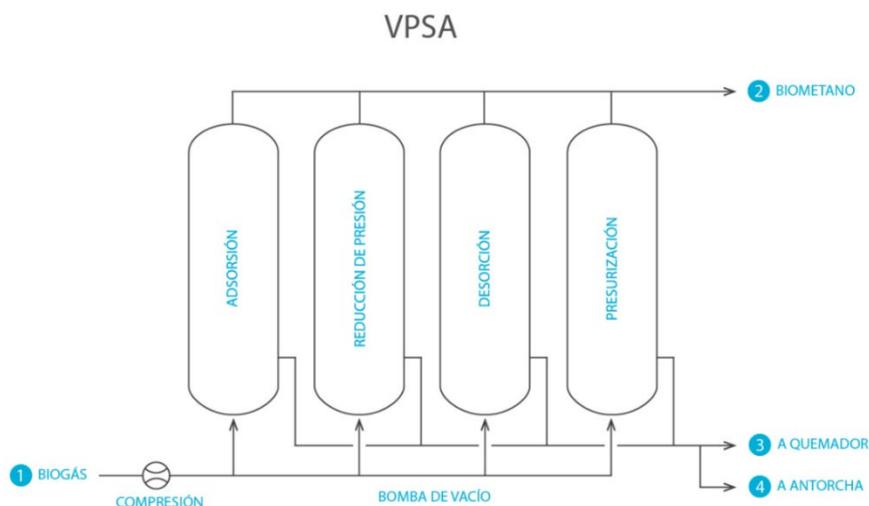


Figura 6: Separación por presión o PSA (Biogás Upgrading, 2020)

- **Separación con membranas:** en este proceso se hace circular al biogás a presión a través de membranas de polímeros, más permeables al  $\text{CO}_2$  que al  $\text{CH}_4$  como se ve en la Figura 7. La eficacia del proceso dependerá del tipo de material de la membrana. Es un proceso muy sencillo y está muy desarrollado. El gas es comprimido hasta 14/16 bar, por lo que el consumo eléctrico es elevado. Esto hace que para altos caudales no sea rentable.

## MEMBRANAS

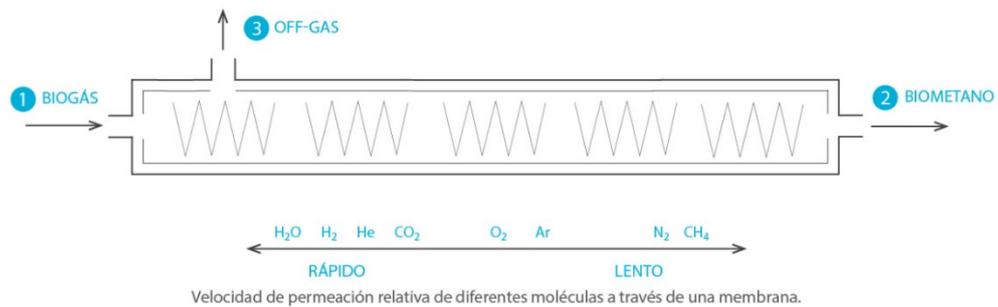


Figura 7: Separación con membranas (Biogás Upgrading, 2020)

- **Absorción química:** esta última tecnología está basada en la absorción química del  $\text{CO}_2$ , el  $\text{H}_2\text{S}$  y los compuestos orgánicos volátiles como aminas o soluciones acuosas de sales alcalinas. El proceso es eficiente en la separación consiguiendo un alto porcentaje de metano y una muy baja presencia de sulfhídrico en la corriente de gas natural renovable. Este proceso apenas está presurizado. Se hace pasar el gas por un scrubber con un compuesto de aminas que se encargan de absorber el  $\text{CO}_2$  y el  $\text{H}_2\text{S}$ . De aquí va al secado, donde entra el metano a  $-37^\circ\text{C}$ . Por otro lado, la amina suelta el  $\text{CO}_2$  tras consumir calor. Y se vuelve a enfriar para volver a iniciar el proceso.

Esta tecnología tiene un bajo consumo eléctrico, pero un alto consumo térmico  $140^\circ\text{C}$ . Sin embargo, en las fases de refrigeración como se muestra en la Figura 8 se puede recuperar gran parte de la potencia térmica para otros procesos.

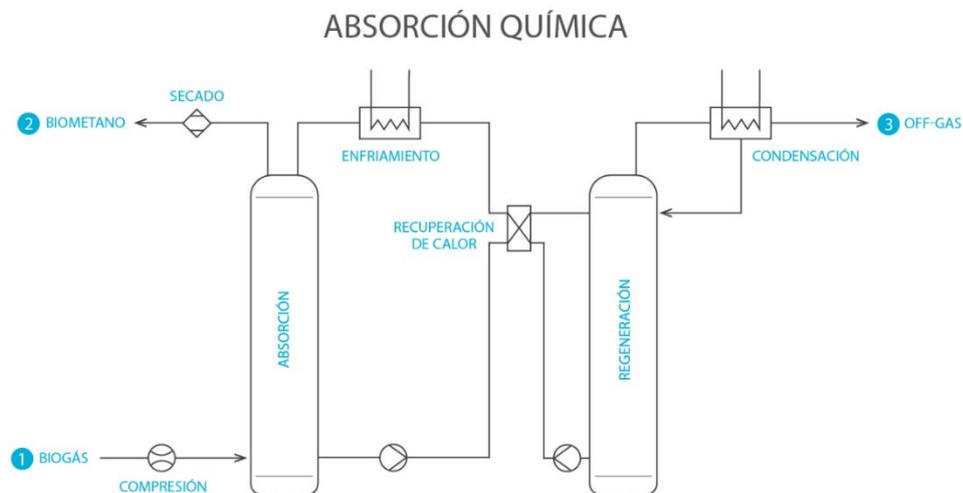


Figura 8: Absorción química (Biogás Upgrading, 2020)

---

### ***2.3.3 Propulsión de vehículos en la industria del transporte***

Otro de los usos del biogás, aunque no tan común como los dos que acaban de ser mencionados, es la propulsión de vehículos en la industria del transporte. Debido a que el biogás puede comprimirse con facilidad, puede utilizarse para alimentar vehículos de gas natural. El biometano obtenido del biogás puede contribuir de manera importante en la protección del medio ambiente, además de optimizar la cadena de suministro y reducir la contaminación sónica de los vehículos diésel.

### ***2.3.4 Como combustible para estufas de gas domésticas y para grupos electrógenos portátiles***

Al igual que el gas natural puede impulsar motores de vehículos, el biogás puede utilizarse para alimentar lámparas o estufas caseras de gas y grupos electrógenos portátiles. Los grupos electrógenos portátiles son motores de combustión interna que utilizan alternadores. La mayoría de las viviendas que no dependen de una red eléctrica utilizan estas herramientas, las cuales pueden estar configuradas para funcionar con biogás de la misma forma que utilizan el gas natural o el gas propano.

## Capítulo 3. ANÁLISIS DEL ENTORNO

El foco de la investigación de este proyecto se encuentra puesto en la viabilidad de construir una planta autosustentable en términos energéticos a partir de biodigestores alimentados de desechos orgánicos de origen equino.

Por ello, se hablará en primer lugar de los problemas que puede plantear al entorno y a continuación, se comentará el lugar de explotación donde se va a llevar a cabo la instalación de la planta de biogás, teniendo en cuenta la cantidad y potencial de acceso a los residuos para asegurar un funcionamiento uniforme y rentable de la planta de biogás. Además, se llevará a cabo el análisis del entorno.

### 1.1 Problemas planteados en la atmósfera

El sector ganadero genera un gran impacto sobre la calidad del aire. Esto se debe a las emisiones gaseosas originadas por las actividades ganaderas. Las sustancias gaseosas que alteran las características del aire son: el dióxido de carbono, el metano, el amoníaco y los olores.

#### 3.1.1 *El dióxido de carbono*

El dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) es un gas cuya molécula está formada por un átomo de carbono y dos átomos de oxígeno. Y se origina por la combustión de materia orgánica. El  $\text{CO}_2$  es un gas de efecto invernadero ya que absorbe las radiaciones infrarrojas procedentes de la superficie de la tierra, impidiendo que el calor se elimine hacia el espacio y contribuyendo al calentamiento global del planeta. El dióxido de carbono es el mayor responsable del calentamiento de la tierra. La producción de  $\text{CO}_2$  en la ganadería deriva principalmente de la respiración animal y de los subproductos de su metabolismo.

#### 3.1.2 *El metano*

El metano es el hidrocarburo alcano más sencillo, cuya fórmula química es  $\text{CH}_4$ . Este se produce principalmente por la descomposición bacteriana de la materia orgánica en condiciones anaerobias y los niveles de este gas en la atmósfera han sufrido un incremento exponencial en los últimos años. El metano emitido a la atmósfera no se acumula, una parte de este es reabsorbida por el suelo y la otra, es oxidada en el aire. La intervención del metano en diversos aspectos y reacciones es de gran importancia para la atmósfera. En la troposfera participa en el calentamiento de la tierra y puede aumentar la concentración del ozono. Sin embargo, en la estratosfera contribuye a la destrucción de la capa de ozono. Además, el metano también interviene en el efecto invernadero, por un parte, absorbe las radiaciones infrarrojas que proceden de la superficie de la tierra evitando que se libere calor al espacio y, por otra, se oxida en la atmósfera dando lugar al monóxido de carbono (CO) que, mediante oxidación da lugar a dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), otro gas del efecto invernadero.

La producción de metano ( $\text{CH}_4$ ) en la ganadería proviene principalmente por los rumiantes se deriva de manera natural del proceso digestivo en estos, pero constituye una pérdida de energía y contribuye a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), por lo que ha aumentado el número de investigaciones a fin de reducir la metanogénesis ruminal.

### **3.1.3 El amoníaco**

El amoníaco está formado por un átomo de nitrógeno y tres de hidrógeno ( $\text{NH}_3$ ). Se trata de un gas incoloro, que se caracteriza por ser una base fuerte, corrosiva y que reacciona violentamente con ácidos, oxidantes fuertes y halógenos. El amoníaco tiene una gran importancia en la química atmosférica y en las deposiciones ácidas. Es uno de los principales responsables de la acidificación de la atmósfera. La ganadería es la principal generadora de amoníaco, estas emisiones de amoníaco se producen principalmente como resultado de la volatilización de los excrementos del ganado, ya sea por el alojamiento del ganado, el almacenamiento de estiércol, la deposición de orina o después de que el estiércol se extienda a la tierra.

### **3.1.4 Los olores**

Los olores derivan principalmente de los procesos de degradación biológica de las sustancias contenidas en los excrementos. El impacto de las emisiones olorosas en las inmediaciones de la explotación dependerá, de la magnitud de la tasa de emisión de la instalación, de la proximidad de los receptores sensibles y de la topografía local y condiciones meteorológicas predominantes. Si las condiciones en que se realizan estas transformaciones son anaerobias, los compuestos volátiles generados resultan más desagradables al olfato.

## **1.2 Localización de la planta del biogás**

A pesar de los problemas planteados en la atmósfera del sector ganadero y el impacto negativo sobre la calidad del aire. El objetivo principal de este proyecto es la construcción de una planta de biogás, con materia prima proveniente de residuos equinos, la construcción de esta se va a llevar a cabo en un olivar que se refleja en la Figura 9, este cuenta con unas 106 hectáreas aproximadas ubicado en el municipio de Burguillos de Toledo, que pertenece a la provincia de Toledo. Las coordenadas corresponden a  $39^{\circ}47'58,1''\text{N}$  /  $3^{\circ}58'22,1''\text{W}$  (Google Maps, 2022).

Se consideró esta ubicación como la más acertada debido a su cercanía a la provincia de Madrid y de Toledo, dos provincias con alto número de centros equinos. Además de su cercanía con la capital de Toledo que se encuentra a menos de 10 km.

Para la elección de este lugar se ha tenido en cuenta que existen carreteras secundarias. Esto beneficia económicamente a la obra ya que no hay que construir rutas de acceso a la misma, además, de reducir el tiempo de puesta en marcha.



Figura 9: Localización de la planta (Google Maps, 2022)

El cálculo de la superficie total del terreno se ha calculado mediante la herramienta de medir distancia de Google Maps, como se muestra en la Figura 10. El resultado de la superficie total es de 1,06 km<sup>2</sup> y el perímetro total del área es de 4,39 km.

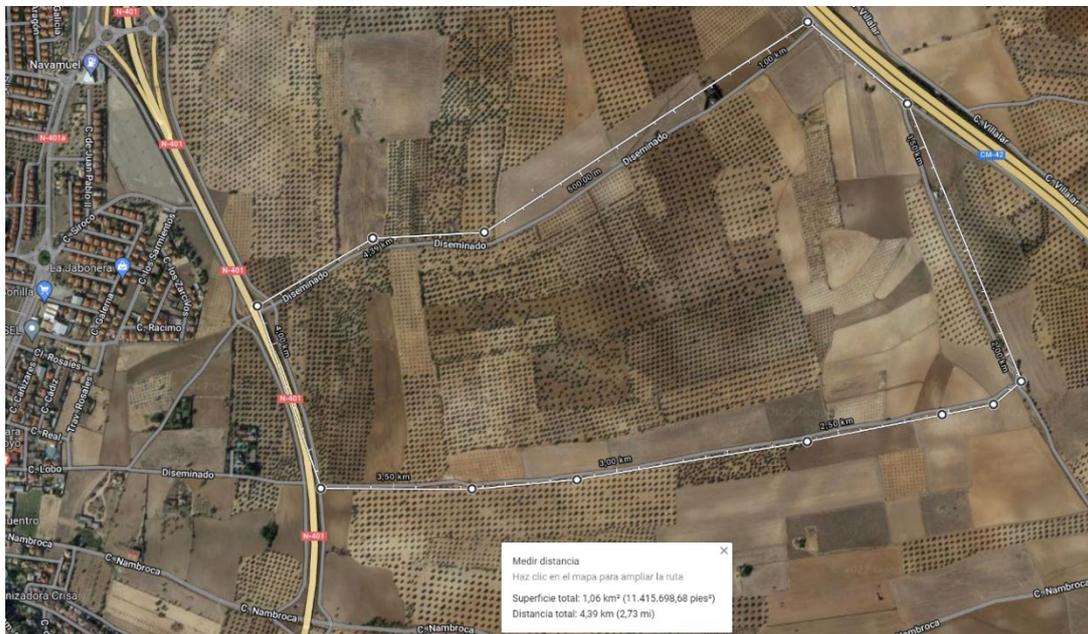


Figura 10: Superficie total (Google Maps, 2022)

El clima que se presenta en la localización donde está la planta de biogás ubicada es un clima mediterráneo típico. Este clima se caracteriza por inviernos templados y lluviosos, y veranos secos y calurosos o templados, con otoños y primaveras variables, tanto en temperaturas como en precipitaciones. Las lluvias no suelen ser muy abundantes, y se concentran mayormente en otoño y primavera, con variaciones locales.

Las temperaturas se mantienen, en promedio, todos los meses por encima de los 20 °C, pero presentan variación estacional, hay meses fríos por debajo de los 18 °C y otros más cálidos que en el mediterráneo típico sobrepasan los 22 °C (Briceño, 2021).

Aunque España no sea un país de climas extremos, se debe tener en cuenta la climatología de la zona, para el estudio ya que resulta esencial para el cálculo de la energía térmica necesaria para calentar el sustrato a partir del cual se va a obtener el producto del biogás. Siendo el clima mediterráneo, un clima favorable para el desarrollo de este proceso.

### 1.3 Cercanía y disponibilidad de residuos equinos

Para la formación de biogás en nuestra planta como ha sido mencionado en los apartados anteriores, se va a utilizar estiércol equino. Estos residuos equinos van a ser extraídos de una finca particular situada en el municipio de Villaviciosa de Odón con las coordenadas 40°24'48.4"N 3°56'47.3"W.

Esta finca cuenta en sus instalaciones con una media al mes de 65 equinos, teniendo en cuenta que cada equino produce una media de 8 toneladas al año de estiércol. Se ha llevado a cabo en la Ecuación (1) el cálculo anual total de estiércol producido entre todos los equinos, que será transportado a la planta para la obtención del biogás.

$$\text{Estiércol total anual} = 65 \text{ equinos} \cdot \frac{8 \frac{\text{toneladas estiércol}}{\text{equino}}}{\text{año}} = 520 \text{ toneladas totales estiércol} \quad (1)$$

Diariamente un caballo produce una media de 15 kilogramos de estiércol y 4 litros de orina. Para saber la cantidad total de orina y estiércol que se están produciendo diariamente en la finca, se van a realizar los cálculos de la Ecuación (2) y la Ecuación (3).

$$\text{Estiércol total diario} = 65 \text{ equinos} \cdot \frac{15 \frac{\text{kilogramos estiércol}}{\text{equino}}}{\text{día}} = 975 \text{ kilogramos de estiércol diarios} \quad (2)$$

$$\text{Orina total diaria} = 65 \text{ equinos} \cdot \frac{4 \frac{\text{litros de orina}}{\text{equino}}}{\text{día}} = 260 \text{ litros totales de orina diarios} \quad (3)$$

Debido a la cantidad de residuos que se producen diariamente, para evitar los malos olores y las enfermedades que se generan por la acumulación de estiércol y que puedan repercutir en los caballos. Estos van a ser transportados a la planta de biogás cada semana. En la Figura 11 se aprecian tres trayectos diferentes para ir desde la planta hasta la finca. Ambos centros se encuentran situados a una distancia de unos 100 km el uno del otro, y el tener 3 posibles rutas, facilita la llegada de un lugar a otro en horas punta de mayor tráfico.





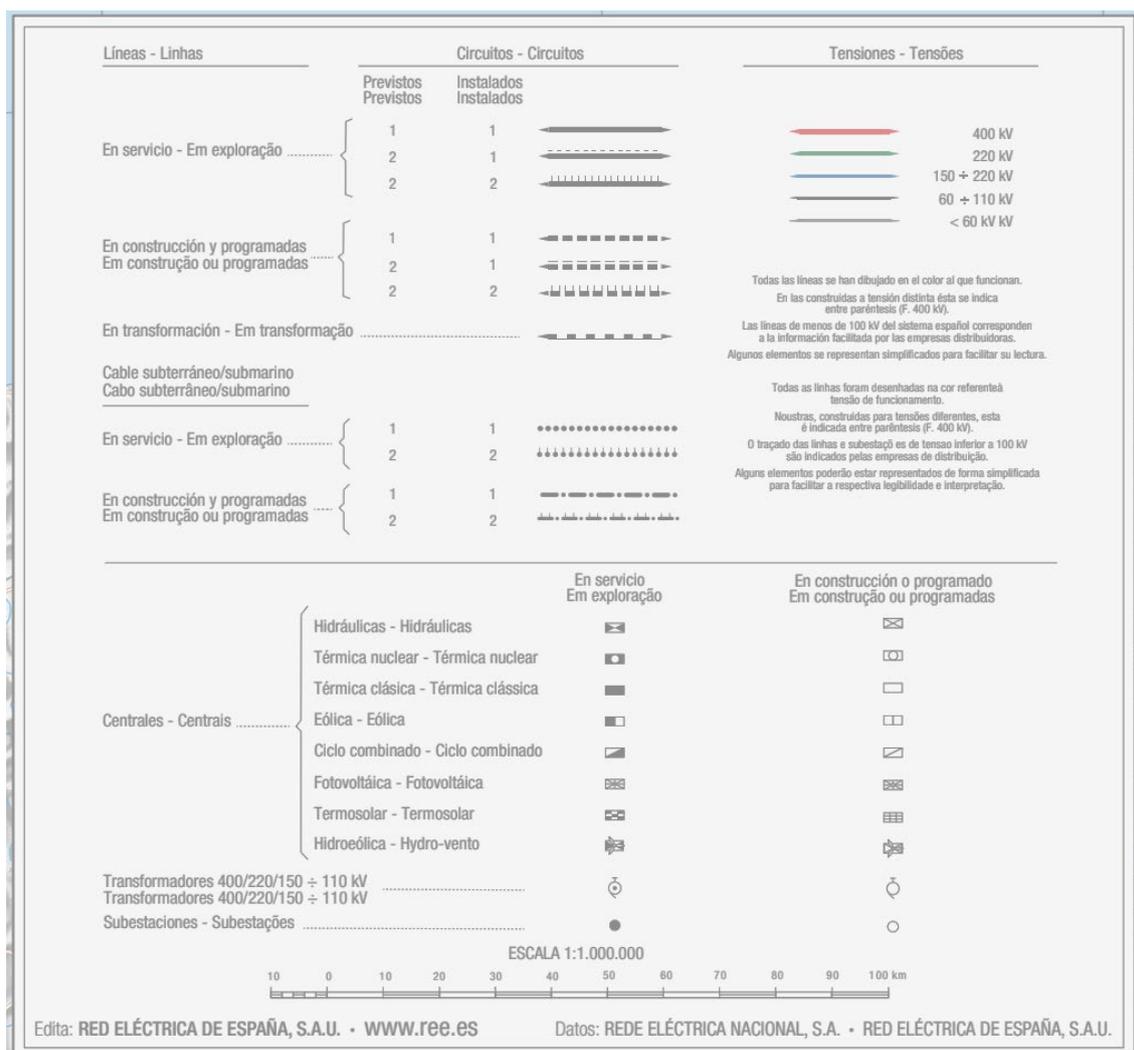


Figura 13: Leyenda mapa eléctrico Figura 12 (Ree, 2018)

## 1.5 Marco legal

Para efectuar la construcción y operación de una central generadora se deben acatar distintos tipos de normas. En esta sección se muestran las normas españolas actuales sacadas del (BOE, 2022) relacionadas con el desarrollo de plantas de biogás a pequeña escala. Se han incluido las subsecciones siguientes: normas sanitarias, normas medioambientales, uso del biogás y uso agrícola del digestato.

### 3.1.5 Normativas sanitarias

**Ley 1528/2012**, de 8 de noviembre, por el que se establecen las normas aplicables a los subproductos animales y los productos derivados no destinados al consumo humano: tiene por objeto establecer disposiciones específicas de aplicación en España del Reglamento (CE) n.º 1069/2009, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de octubre, por el que se establecen las normas sanitarias aplicables a los subproductos animales y los productos

derivados no destinados al consumo humano y por el que se deroga el Reglamento (CE) n.º 1774/2002 (Reglamento sobre subproductos animales), y del Reglamento (UE) n.º 142/2011, de la Comisión, de 25 de febrero de 2011, por el que se establecen las disposiciones de aplicación del Reglamento (CE) n.º 1069/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo por el que se establecen las normas sanitarias aplicables a los subproductos animales y los productos derivados no destinados al consumo humano, y la Directiva 97/78/CE del Consejo en cuanto a determinadas muestras y unidades exentas de los controles veterinarios en la frontera en virtud de la misma.

### **3.1.6 Normativas de la utilización del biogás**

**Real Decreto 413/2014**, de 6 de junio, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos: constituye el objeto de este real decreto la regulación del régimen jurídico y económico de la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos.

**Orden IET/1045/2014**, de 16 de junio, por la que se aprueban los parámetros retributivos de las instalaciones tipo aplicables a determinadas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos.

**Orden TED/1161/2020**, de 4 de diciembre, por la que se regula el primer mecanismo de subasta para el otorgamiento del régimen económico de energías renovables y se establece el calendario indicativo para el periodo de 2020-2025: constituye el objeto de esta orden la regulación del primer mecanismo de subasta para el otorgamiento del régimen económico de energías renovables, regulado en el Real Decreto 960/2020, de 3 de noviembre, por el que se regula el régimen económico de energías renovables para instalaciones de producción de energía eléctrica, así como el establecimiento de las características de dicho régimen que serán de aplicación a las instalaciones adjudicatarias de la subasta. Adicionalmente, es objeto de esta orden el establecimiento de un calendario indicativo para la asignación del régimen económico de energías renovables durante el periodo 2020-2025 que incluye plazos indicativos, la frecuencia de las convocatorias, la capacidad esperada y las tecnologías previstas.

### **3.1.7 Normativas del uso agrícola del digestato**

**Real Decreto 261/1996**, de 16 de febrero, sobre protección de las aguas contra la contaminación producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias: el presente Real Decreto tiene por objeto establecer las medidas necesarias para prevenir y corregir la contaminación de las aguas, continentales y litorales, causada por los nitratos de origen agrario.

**Real Decreto 506/2013**, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes: este real decreto tiene por objeto establecer la normativa básica en materia de productos fertilizantes y las normas necesarias de coordinación con las comunidades autónomas.

### **3.1.8 Normativas medioambientales**

**Ley 22/2011**, de 28 de julio, sobre residuos y suelos contaminados: esta Ley tiene por objeto regular la gestión de los residuos impulsando medidas que prevengan su generación y mitiguen los impactos adversos sobre la salud humana y el medio ambiente asociados a su generación y gestión, mejorando la eficiencia en el uso de los recursos.

**Real Decreto 1481/2001**, de 27 de diciembre, por el que se regula eliminación de residuos mediante depósito en vertedero: el objeto de este Real Decreto es el establecimiento de un marco jurídico y técnico adecuado para las actividades de eliminación de residuos mediante depósito en vertederos, al tiempo que regula las características de éstos y su correcta gestión y explotación, todo ello teniendo en cuenta el principio de jerarquía en la gestión de residuos recogido en el artículo 1.1 de la Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos, y con la finalidad de proteger la salud de las personas y el medio ambiente

**Ley 16/2002**, de 1 de julio, de Prevención y Control integrado de la Contaminación (IPPC): esta Ley tiene por objeto evitar o, cuando ello no sea posible, reducir y controlar la contaminación de la atmósfera, del agua y del suelo, mediante el establecimiento de un sistema de prevención y control integrados de la contaminación, con el fin de alcanzar una elevada protección del medio ambiente en su conjunto.

## Capítulo 4. FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE BIOGÁS

En este capítulo se va a explicar cada etapa del proceso de una planta de biogás. En la Figura 14 se ha utilizado un esquema general de los componentes de una planta de biogás, elaborado por (Red Agrícola, 2021) para generación de energía eléctrica y térmica, identificando las etapas principales del procesamiento de la biomasa: manejo de sustratos, producción de biogás y utilización del biogás. Estas etapas son discutidas en detalle en los puntos siguientes:

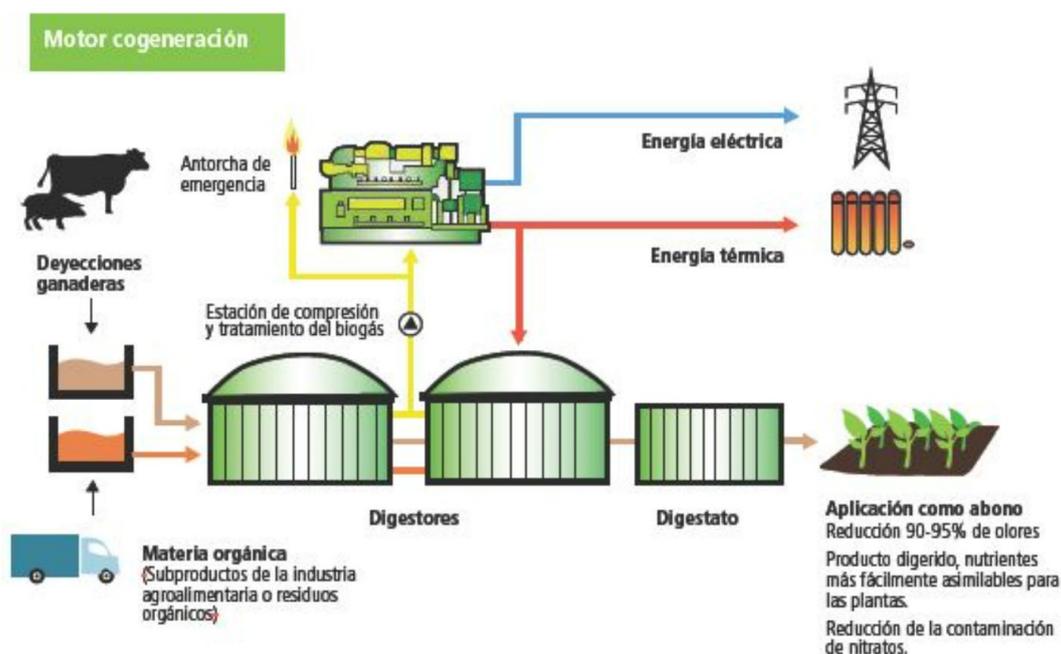


Figura 14: Esquema general de una planta de biogás (Red Agrícola, 2021)

### 4.1 Recepción y sistema de alimentación

Para la recepción y manejo de los sustratos se debe tener gran cuidado tanto en su consistencia como en su origen. En el caso de residuos agrícolas, por regla general, la materia prima se suministra a la planta, mediante el transporte de los residuos en camiones cerrados. Estos son almacenados en el depósito de almacenamiento. El depósito de almacenamiento transporta los residuos equinos compuestos por la mezcla del estiércol y la orina, mediante un transportador de tornillos al tanque mezclador, donde se forma un sustrato homogéneo entre la materia sólida y líquida del estiércol equino.

Los equipos utilizados para la alimentación de los sustratos al digestor dependerán de su consistencia y características. Al ser los residuos equinos, sustratos con mayor contenido de sólidos es conveniente utilizar sistemas de tornillo sin fin y picador incorporado. Para facilitar

la homogenización de la mezcla del estiércol y orina equina, antes de la alimentación de esta en el tanque mezclador. Debajo del tanque mezclador se encuentra un sistema de pesado, que pesa de forma precisa la mezcla para asegurar el control de sustrato en cada momento.

## **4.2 Estudio de los equipos para la producción de biogás**

La producción de biogás depende fundamentalmente del tipo de sustrato empleado, de sus condiciones, características y cantidad disponible. El reactor de digestión anaerobia es el componente central de toda planta de generación de biogás, para el cual existen diversos tipos y configuraciones posibles con sus sistemas auxiliares de calefacción, agitación del sustrato y almacenamiento del biogás producido, dependiendo de la materia prima que va a ser utilizada para la formación de biogás. Hay tres tipos de reactores de digestión anaerobia: reactor de mezcla completa sin recirculación, reactor de mezcla completa con recirculación y reactor de flujo pistón (IDAE, 2007).

### **4.2.1 Reactor de mezcla completa sin recirculación**

Es el reactor que vamos a tener en la planta, ya que para residuos ganaderos es el más efectivo por sus siguientes características. El reactor de mezcla completa sin recirculación trata de estanques circulares herméticos, que pueden ser de acero u hormigón armado, en los que el sustrato es mezclado, de manera regular mediante agitadores.

Estos agitadores permiten que el sustrato que entra al digestor esté en contacto con la población bacteriana y con el sustrato en degradación. El sistema de agitación puede ser mecánico o neumático. En este tipo de reactores, comparando con otros reactores, el tiempo de retención necesario es alto, debido a que la concentración de cualquier especie en régimen estacionario en el reactor debería ser la misma que en el efluente. Si la velocidad de reacción depende de la concentración, como es el caso de los procesos biológicos, la velocidad será baja, y la forma de compensarla es aumentando el tiempo de reacción.

### **4.2.2 Reactor de mezcla completa con recirculación**

Este reactor anaerobio de contacto es un sistema sólo aplicable para el tratamiento de aguas residuales con alta carga orgánica. Se ha comprobado que, regulando la recirculación, es posible conseguir tiempos de retención hidráulica, esto es debido a que el tiempo de retención de los microorganismos aumenta, gracias a su confinamiento en el sistema mediante la separación en el decantador y recirculación. Debido a la necesaria separación de microorganismos, es un sistema sólo aplicable a aguas residuales de alta carga orgánica para las que sea posible una separación de fases líquido-sólido.

En la Figura 15 se muestran dos esquemas a modo de comparación entre los dos reactores de mezcla completa. Como se ve, en el segundo esquema el reactor con circulación tiene un sistema de desgasificación antes del decantador ya que sin él la decantación se puede ver impedida.

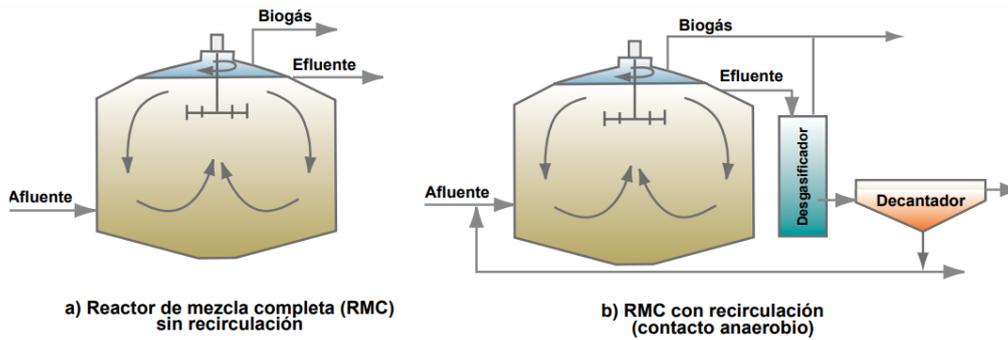


Figura 15: Esquema de reactores de mezcla completa (IDAE, 2007)

### 4.2.3 Reactor de flujo pistón

Estos tipos de reactores son útiles para la digestión de sustratos con alto contenido de sólidos y que pueden presentar un proceso microbiológico más estable. Se utiliza el empuje producido por la incorporación de nuevo sustrato para generar el flujo longitudinal del material. La mezcla se produce en planos paralelos perpendiculares a la dirección de flujo a través de agitadores especiales construidos para ello, como se observa en la Figura 16. Uno de los inconvenientes de este reactor es la falta de homogenización en la sección transversal a la dirección del flujo, por tanto, no podría ser de utilidad en nuestra planta de biogás.

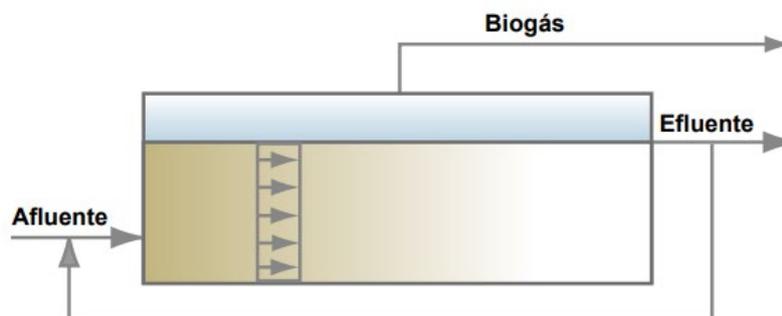


Figura 16: Reactor de flujo de presión (IDAE, 2007)

Como se ha mencionado en el biodigestor de mezcla completa sin recirculación, el cual ha sido seleccionado para llevar a cabo la producción del biogás de nuestra planta, hay unos elementos importantes para el mezclado del sustrato, que son los agitadores. Estos garantizan el contacto de este con las colonias bacterianas que degradan la materia orgánica y se evita la formación de costras flotantes en el reactor. Pero su función más importante es mantener homogénea la temperatura dentro del reactor para obtener un proceso estable. Dependiendo de las características de la mezcla dentro del reactor, se pueden utilizar distintos tipos de agitadores en los estanques de digestión. Para la selección del agitador, se va a tener en cuenta la Tabla 5 con las características de cada agitador.

Tabla 5: Características de los tipos de agitadores (Elaboración propia)

	CARACTERÍSTICAS	ÁREAS DE APLICACIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
AGITADOR DE HÉLICE SUMERGIBLE	Agitadores de alta velocidad de mezcla (hasta 1.500 RPM) Motor sumergible y hermético. Fabricación en material resistente a la corrosión (acero inoxidable). Posibilidad de posición ajustable a través de rieles o barras guía. Diámetro de hélices de 50 a 70 cm. Potencias eléctricas entre 7 y 22 kW	Para sustratos bombeables, con contenidos de sólidos bajos. Para reactores en el rango mesófilo de temperatura.	Muy buena mezcla para sustratos líquidos.	Para estanques grandes requiere varios aparatos. Consumo energético alto para cada agitación. Tendencia a producir capas duras flotantes.
AGITADOR AXIAL DE ROTACIÓN LENTA	Agitador de rotación lenta (8 a 14 RPM). Paletas de agitación de hasta 22 m de diámetro. Motor de rotación colocado fuera del reactor. Fabricación en material resistente a la corrosión (acero inoxidable). Potencias eléctricas de entre 15 a 18 kW	Estanques verticales con cubierta soportante (hormigón). Sustratos bombeables con contenido de sólidos medios (mayor a 10%).	Fácil mantención del motor. Pequeñas capas duras flotantes pueden mezclarse por movimiento rotatorio. Operación continua ayuda a evitar formación de grandes capas duras flotantes.	Debido a su operación estática solo es posible una mezcla insuficiente, especialmente en los bordes del digestor. Posible formación de capas duras en los bordes del digestor.
AGITADOR EXCÉNTRICO	Agitador de rotación semi-rápido y lento (100 a 300 RPM y 10 a 50 RPM). Instalación oblicua a través de las paredes del reactor anaerobio. Motor de rotación colocado fuera del reactor. Fabricación en material resistente a la corrosión (acero inoxidable). Diámetro de hélices entre 0,7 a 2,5 m. Potencias eléctricas de en promedio 15 kW	Estanques verticales. Sustratos bombeables con contenido de sólidos medios (mayor a 10%).	Buena mezcla. Fácil mantención del motor. Pequeñas capas duras flotantes pueden mezclarse por movimiento vertical. Operación continua ayuda a evitar formación de grandes capas duras flotantes.	Debido a su operación estática solo es posible una mezcla insuficiente, especialmente en los bordes del digestor. Posible formación de capas duras en los bordes del digestor.
AGITADOR DE PALETAS	Agitador de rotación lenta de operación continua (12 a 25 RPM). Instalación lateral en reactores verticales. Motor de rotación colocado fuera del reactor. Fabricación en material resistente a la corrosión (acero inoxidable). Diámetro de paletas entre 2 a 4 m. Potencias eléctricas de entre 15 a 18 kW.	Estanques verticales y reactores de flujo pistón. Sustratos bombeables con contenido de sólidos medios (mayor a 10%). Para reactores con un diámetro no mayor a 14 m.	Buena mezcla. Su operación en estanques horizontales posibilita el efecto del flujo pistón. Fácil mantención del motor. Operación continua ayuda a evitar formación de grandes capas duras flotantes.	Debido a su operación estática solo es posible una mezcla insuficiente, especialmente en los bordes del digestor. Posible formación de capas duras en los bordes del digestor.

Teniendo en cuenta las características de los tipos de agitadores de la Tabla 5, el más adecuado para la instalación en la planta es el agitador excéntrico. Se ha descartado el agitador de hélice sumergible porque es de utilidad sólo en sustratos con contenidos de sólidos bajos o líquidos. También el agitador axial de rotación lenta, debido a que su área de aplicación son estanques verticales con cubiertas soportantes. Por descarte entre el agitador excéntrico y el agitador de paletas, aunque son muchas sus similitudes como las desventajas, la colocación del motor fuera del reactor y la fabricación de estos reactores de acero inoxidable resistente a la corrosión, el agitador seleccionado como se ha mencionado al principio va a ser el agitador excéntrico, por su diámetro de hélice entre 0,7 a 2,5 m ya que al ser una planta pequeña no es necesario un diámetro tan grande como el de agitador de paletas que está entre 2 a 4 m.

Tras la selección del tipo de biodigestor y de agitador, se va a producir la fermentación en el biodigestor herméticamente cerrado lo que asegura una atmósfera sin oxígeno, para que las bacterias lleven a cabo la digestión anaeróbica anteriormente explicada de los componentes insertados, y como resultado de este proceso se produce biogás. Dentro del biodigestor hay un sistema de calefacción por medio de tuberías de acero inoxidable que se encarga de mantener la temperatura del fermentador constante.

El biogás producido durante el proceso de digestión anaerobia debe ser almacenado. Las dos formas habituales de almacenamiento de biogás en plantas de desarrollo comercial corresponden a sistemas de almacenamiento de baja presión. Éstos pueden ser integrados a los reactores de cubierta o de tipo externo, es decir, ubicados en un lugar separado de los estanques de digestión. En ambos casos se trata de sistemas de almacenamiento compuestos por materiales diversos que garanticen hermeticidad y resistencia, y están sometidos a análisis para soportar altas cargas de nieve y altas velocidades de viento. Sus características principales se muestran en la siguiente Tabla 6, a partir de las cuales se va a seleccionar el tipo de almacenamiento para el biodigestor.

Tabla 6: Tipos de almacenamiento de biogás (Elaboración propia)

	CARACTERÍSTICAS	ÁREAS DE APLICACIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
ALMACENAMIENTO EXTERNO	Volúmenes de hasta 2.000 m <sup>3</sup> . Materiales apropiados: PVC, goma sintética, mezcla de polietileno y polipropileno, acero fino, fibra de vidrio. Permeabilidad máxima entre 1 y 5 por mil. Distintas formas de construcción e instalación.	Todo tipo de biogás. Todo tipo de reactores.	La composición del biogás en el digestor puede ser medida con precisión y en tiempo real, dada la menor mezcla que se produce en el área gaseosa, y refleja mejor el estado de operación del digestor	Eventual necesidad de espacio adicional Eventual necesidad de una construcción adicional. El digestor requiere de una cubierta hermética adicional.
ALMACENAMIENTO INTEGRADO	Volúmenes de hasta 4.000 m <sup>3</sup> . Materiales apropiados: goma sintética, mezcla de polietileno y polipropileno. Permeabilidad máxima entre 1 y 5 por mil. Distintas formas de construcción e instalación	Todo tipo de biogás. Principalmente usados en biodigestores verticales.	No requiere espacio ni construcciones adicionales	Composición del biogás en la zona gaseosa del digestor no refleja el estado del proceso en tiempo real, debido a la mezcla de gases de períodos de tiempo distintos. Eventualmente sensible a cargas de viento y nieve. Aislación térmica se ve disminuida.

Tras analizar la Tabla 6 para escoger el mejor almacenamiento para el biogás de la planta, ha llegado a la conclusión que el tipo de almacenamiento más adecuado a las características de la planta, va a ser el almacenamiento integrado. Ya que este no requiere espacio ni construcciones adicionales, y almacena un volumen de biogás de hasta 4.000 m<sup>3</sup>. Ambos sistemas de almacenamiento de biogás cuentan con mecanismos de seguridad que evitan que la sobrepresión límite sea sobrepasada. En caso de fallos del motor y aumento de la presión de los gasómetros, el biogás es desviado hacia una antorcha para su combustión controlada.

### 4.3 Tipos de tratamiento del biogás según el uso del biogás

El biogás creado en el biodigestor necesita un tratamiento específico según el destino de este. Los pasos para el tratamiento primario del biogás son tendientes a remover el sulfuro de hidrógeno y el vapor de agua, lo cual es necesario para todos los usos del biogás.

Para la remoción del sulfuro de hidrógeno se aplica un mecanismo microbiológico que consiste en utilizar bacterias que son capaces de transformar el sulfuro de hidrógeno, en azufre elemental, en presencia de oxígeno. En plantas de escala pequeña y mediana se utiliza la desulfurización biológica al interior de la zona gaseosa del digestor, mediante la adición controlada de aire. Este proceso lleva asociado costos de inversión y operación menores, aunque provoca algún grado de interferencia con el proceso de digestión anaerobia si no se controla en forma automática. La aireación excesiva del medio bacteriano puede provocar inhibiciones en el crecimiento y, en casos extremos, la pérdida de la población metanogénica.

Si el destino final del biogás es la sustitución de gas natural, debe purificarse hasta asimilarlo a la calidad de ese combustible. Este proceso corresponde a la eliminación del CO<sub>2</sub> de la mezcla de gases. Para este fin existen diversas tecnologías (Condorchem Envitech, 2021):

- **Lavado de gas:** absorción del CO<sub>2</sub> a través del lavado con líquidos.
- **Adsorción de cambios de presión:** adsorción de CO<sub>2</sub> por medio de fuerza electrostática en un medio de adsorción.
- **Sistema de membrana en seco:** separación de CO<sub>2</sub> a través de sistemas de membranas.
- **Sistema de membrana húmedo:** separación de CO<sub>2</sub> a través de sistemas de membranas permeables en conjunto con un medio líquido de absorción.
- **Dilución del CO<sub>2</sub>:** separación de fases en CO<sub>2</sub> líquido y CH<sub>4</sub> gaseoso.
- **Rectificación a baja temperatura:** separación de CO<sub>2</sub> por diferencial del punto de congelamiento y temperatura de - 80°C y +15°C.

Después de ser aplicado uno de estos tratamientos para la eliminación del CO<sub>2</sub> de la mezcla de gases, el biogás pasa por un compresor donde se eleva su presión a los niveles necesarios para su inyección, a través de tuberías de alimentación.

En el caso de que la finalidad del biogás sea la transformación simultánea de energía eléctrica y energía térmica, es decir, la cogeneración. El biogás es sometido a sistemas de recuperación de calor compuestos por intercambiadores de calor en los sistemas de refrigeración y de eliminación de gases de combustión que reducen la temperatura de los gases de 420 °C hasta unos 150 °C. Es decir, se basa en un tratamiento que consiste en un enfriamiento brusco para poder extraer y condensar todo el agua que viene junto con el biogás.

De esta forma, parte del calor residual generado por la combustión de biogás, que no se transforma en energía mecánica ni posteriormente en eléctrica, es recuperado para su uso térmico posterior en procesos o para calefacción. Mediante la cogeneración se obtiene energía de mayor valor agregado (energía eléctrica) lográndose una alta eficiencia global en el uso del combustible (hasta 85%), reduciendo así la dependencia de otros combustibles fósiles y eventualmente más contaminantes. Existen otras alternativas para la generación eléctrica a partir del biogás, como la utilización de motor Stirling, microturbinas de gas o celdas de combustible, que hasta ahora no han tenido un desarrollo comercial mayor, principalmente debido a sus altos costes de inversión, menores eficiencias eléctricas y falta de madurez de las tecnologías (Mentado, 2019).

#### 4.4 Tipo de riesgo de fallos en la planta de biogás

Hay que tener en cuenta el riesgo de fallos asociado a los proyectos de biogás, estos pueden separarse en los riesgos de fallo de los equipos en general y problemas del proceso biológico.

Respecto a las tecnologías y los equipos utilizados en la planta, al tratarse de equipos fabricados de manera industrial, con largos años de investigación y desarrollo en su diseño y numerosas aplicaciones a nivel mundial, se considera que el riesgo tecnológico asociado a la operación de equipos es menor. Sin embargo, a fin de minimizar los efectos de posibles problemas en el funcionamiento de los equipos, es conveniente contar con empresas proveedoras que sean capaces de ofrecer servicios de asistencia técnica y, en algunos casos, como cuando se trata de equipos de cogeneración, contar con contratos de mantención.

Los riesgos más importantes del proceso microbiológico están asociados a la operación de las plantas de biogás. El principal problema consiste en mantener las condiciones ambientales adecuadas para el desarrollo de las poblaciones bacterianas, especialmente de las bacterias metanogénicas encargadas de la última parte del proceso, debido a que son las más sensibles a los cambios del medio y las de menor velocidad de reproducción. Generalmente, el problema más común es la acidificación del medio o sustrato en el interior del reactor, lo que provoca una reducción de la actividad metanogénica, incrementando la acumulación de ácidos provenientes de las primeras fases del proceso y la detención total de la producción de metano.

Por otra parte, la acidificación del medio favorece la formación de compuestos inhibidores, como el ácido sulfhídrico, lo que puede llevar al sistema a colapsar completamente. Las principales causas de la acidificación del medio son: sobrecarga hidráulica, sobrecarga orgánica y sobrecarga de tóxicos (Manual de biogás, 2011).

- Sobrecarga hidráulica: se genera cuando existe un aumento en el caudal de alimentación en reactores de flujo continuo, provocando simultáneamente la salida de material sin degradar y el lavado de la población bacteriana activa. De esta forma, se rompe el equilibrio entre las poblaciones acidogénicas y metanogénicas.
- Sobrecarga orgánica: ocurre cuando se produce un aumento de la alimentación del digestor con materia orgánica. En este caso, las bacterias acidogénicas generarán una mayor cantidad de ácidos que las bacterias metanogénicas no serán capaces de procesar, activándose así el proceso de acidificación.
- Sobrecarga de tóxicos: sobrecarga de una serie de compuestos tóxicos o inhibidores, entre los que se incluyen bactericidas, metales pesados y amonio, entre otros. Un compuesto importante entre los tóxicos es el oxígeno que puede ingresar al reactor por una adición excesiva de aire para la desulfurización biológica o por una mezcla a excesiva velocidad del sustrato, generando así la inhibición de la actividad metanogénica y la acumulación de ácidos.

La temperatura de operación es otro de los factores de gran importancia que debe ser controlado. La supervivencia y la actividad de las colonias bacterianas, y con ello la estabilidad del proceso, dependerán de la mantención de la temperatura en los rangos de operación óptimos.

Para minimizar los riesgos de operación de estos sistemas, se deberá tener especial cuidado en el control de los siguientes parámetros: temperatura, pH, composición del biogás, acidez, FOS/TAC y amonio (Guía de Planificación para Proyectos de Biogás , 2012):

- **Temperatura:** debe controlarse y mantenerse en los rangos de operación.
- **pH:** El valor pH del reactor debe monitorearse constantemente y verificarse su estabilidad.
- **Composición del biogás:** una baja en la fracción de CH<sub>4</sub> del biogás indica la caída de la actividad bacteriana y, con ello, la presencia de problemas de operación.
- **Acidez:** el contenido de acidez da una idea de la acumulación de ácidos grasos volátiles en el interior del reactor y su control permite prevenir la acidificación del reactor, con la subsecuente disminución del pH y la actividad metanogénica.
- **FOS/TAC:** es la relación de acidez con alcalinidad, es un parámetro especialmente desarrollado para el control de estabilidad de un reactor anaeróbico que relaciona los ácidos orgánicos volátiles (FOS) con el carbonato inorgánico total (TAC).
- **Amonio:** el contenido de amonio es un buen indicador de una mezcla no adecuada para la producción de biogás. Esta concentración aumenta cuando la relación C/N es inadecuada. Una alta concentración amoniaca inhibe el proceso microbiológico llegando al extremo de la paralización total de la actividad bacteriana.

El objetivo de los cuidados en la operación de planta de biogás es mantener una producción de biogás estable, con una fracción de metano que varíe de la menor manera posible en el tiempo. Para ello deben verificarse los parámetros óptimos de operación y control, estos son, velocidad de carga y mezclado, temperatura, rangos de pH y composición del biogás.

## Capítulo 5. RESULTADOS FINALES DE LA PLANTA DE BIOGÁS

Una vez explicado el funcionamiento de la planta de biogás en el capítulo anterior, en este apartado se van a llevar a cabo los principales cálculos de la producción de biogás a partir de los residuos equinos que se tiene como sustrato en la planta. Se expondrá a continuación el cálculo analítico de producción de biogás considerando óptimas las condiciones de trabajo, que generan resultados ideales, y que se verán afectados, en la práctica, por diversos factores que intervienen en el funcionamiento real. Dentro de estos cálculos se van a obtener valores indispensables para ver la viabilidad económica del proyecto, estos son el cálculo de la producción de biogás teniendo en cuenta los residuos equinos como materia prima, el volumen total de la biomasa, el volumen de cada digestor, y los cálculos de la energía eléctrica a través de la producción de biogás.

### 5.1 Cálculo de la producción de biogás

Para realizar los cálculos de la producción de biogás diaria, mediante los sustratos equinos que son transportado a la planta, se va a tener en cuenta los valores dados en la Tabla 7, cuyos valores han sido explicados en el apartado 2.2 :

Tabla 7: Cálculo de la producción de biogás (Elaboración propia)

CÁLCULO DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS		
Descripción	Unidad	Actual
Número de caballos	Cabezas	65
Estiércol producido por caballo	kg/día	15
Total estiércol	kg/día	975
Tiempo de estación	horas	22
Cantidad de estiércol producido	kg/día	893,75
Considerando que 1kg de estiércol produce 0,350 m <sup>3</sup> de biogás		
Biogás producido / día	m <sup>3</sup> /día	312,80

En la Ecuación (4) se ha llevado a cabo el cálculo de la producción de biogás, teniendo en cuenta que el centro equino de donde se va a suministrar la planta cuenta con 65 equinos. Para realizar el cálculo se ha tenido en cuenta el número de caballos, el estiércol que produce un caballo diariamente que corresponde con una media de 15 kg y el tiempo que se encuentra el caballo en el box. Considerando que 1kg de estiércol equino produce 0,350m<sup>3</sup> de biogás, se obtienen los siguientes resultados:

$$\begin{aligned}
 \text{Total de estiércol } \left(\frac{\text{kg}}{\text{día}}\right) &= \text{número de caballos} \cdot \text{estiércol producido por caballo } \left(\frac{\text{kg}}{\text{día}}\right) \\
 975 \left(\frac{\text{kg}}{\text{día}}\right) &= 65 \cdot 15 \left(\frac{\text{kg}}{\text{día}}\right) \tag{4}
 \end{aligned}$$

Teniendo en cuenta el tiempo que se encuentra el caballo en el box que se aproxima a 22 horas diaria, la cantidad de estiércol producido corresponde con la de la Ecuación (5):

$$\text{Cantidad de estiércol producido (kg/día)} = \frac{\text{estiércol total producido al día (kg/día)} \cdot \text{tiempo de estación (h)}}{\text{total de horas diarias (h)}}$$

$$893,75 \text{ (kg/día)} = \frac{975 \text{ (kg/día)} \cdot 22 \text{ (h)}}{24 \text{ (h)}} \quad (5)$$

El objetivo de este apartado es el cálculo de biogás que se produce al día, se considera que 1kg de estiércol equino produce 0,350m<sup>3</sup> de biogás, y la cantidad diaria de estiércol que produce un caballo, calculada en la Ecuación (5), se obtienen los siguientes resultados en la Ecuación (6):

$$\text{Biogás producido (m}^3\text{/día)} = \frac{\text{estiércol total producido al día (kg/día)} \cdot 0,350 \text{ (m}^3\text{)}}{1 \text{ (kg)}}$$

$$312,80 \text{ (m}^3\text{/día)} = \frac{893,75 \text{ (kg/día)} \cdot 0,350 \text{ (m}^3\text{)}}{1 \text{ (kg)}} \quad (6)$$

El resultado obtenido de biogás diario producido es de 312,80 m<sup>3</sup>, dato de gran relevancia en los siguientes cálculos, ya que a partir del biogás producido por la planta se llevarán a cabo los posterior cálculos de rendimientos y energía producida.

## 5.2 Cálculo del volumen de digestión

Para el cálculo del volumen de digestión se han tenido en cuenta todos los datos que se dan en la Tabla 8, se ha considerado que la relación de líquido y biomasa corresponde con 1:4.

Tabla 8: Cálculo del volumen de digestión (Elaboración propia)

CÁLCULO DEL VOLUMEN DE DIGESTIÓN		
Descripción	Unidad	Actual
Número de caballos	cabezas	65
Estiércol producido por caballo	kg/día	15
Total estiércol	kg/día	975
Tiempo de estación	horas	22
Cantidad de estiércol producido	kg/día	893,75
Considerando la relación de líquido y biomasa 1:4		
Volumen total de agua	kg/día	3.575
Volumen total de biomasa	kg/día	4.468,75

Para realizar el cálculo de la Ecuación (7) se ha tenido en cuenta el número de caballos, el estiércol que produce un caballo diariamente que corresponde con una media de 15 kg y el tiempo que se encuentra el caballo en el box que corresponde con el valor calculado anteriormente en la Ecuación (5). Para el cálculo del volumen de digestión se considera que por un kilogramo de líquido se obtienen cuatro kilogramos de biomasa.

$$\text{Volumen total de agua (kg/día)} = \frac{\text{cantidad de estiércol producido (kg/día)} \cdot 4 \text{ (kg)}}{1 \text{ (kg)}} \quad (7)$$

$$3.575 \text{ (kg/día)} = \frac{893,75 \text{ (kg/día)} \cdot 4 \text{ (kg)}}{1 \text{ (kg)}}$$

Siendo el volumen total de biomasa calculado en la Ecuación (8) la suma de la cantidad de estiércol producido y el volumen total del agua:

$$\text{Volumen total de biomasa (kg/día)} = \text{Volumen total de agua (kg/día)} + \text{cantidad de estiércol producido (kg/día)}$$

$$4.468,75 \text{ (kg/día)} = 3.575 \text{ (kg/día)} + 893,75 \text{ (kg/día)} \quad (8)$$

Produciendo un total de biomasa diaria de 4.468,75 kg, resultado que será utilizado a continuación para obtener el cálculo del volumen de la mezcla.

### 5.3 Almacenamiento del biogás

Para el cálculo del almacenamiento del biogás, se ha considerado una capacidad de 1m<sup>3</sup> en el biodigestor por cada 1000 kg de masa. Para realizar el cálculo se ha tenido en cuenta el volumen total de biomasa anteriormente calculado en la Ecuación (8), y el tiempo de residencia de la mezcla en el biodigestor. Se considera que el volumen de la mezcla debe ser un 75% del volumen total del biodigestor, como se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9: Almacenamiento del biogás (Elaboración propia)

ALMACENAMIENTO DEL BIOGÁS		
Descripción	Unidad	Actual
Volumen total de biomasa	kg/día	4.468,75
Considerando una capacidad de 1m <sup>3</sup> en el biodigestor por cada 1.000 kg de masa		
Volumen de la mezcla	m <sup>3</sup> /día	4,47
Tiempo de residencia de la mezcla	día	50
Volumen requerido para la biomasa	m <sup>3</sup>	223,44
Considerando que el volumen de la mezcla debe ser un 75% del volumen del digestor		
Volumen de digestión total (VD)	m <sup>3</sup>	297,92
Cantidad de digestores propuestos	unidad	1
Volumen de cada digestor	m <sup>3</sup>	297,92

Considerado una capacidad de  $1\text{m}^3$  en el biodigestor por cada 1000 kg de masa, y el volumen total de biomasa anteriormente calculado en la Ecuación (8), se obtienen los siguientes resultados reflejados en la Ecuación (9) :

$$\begin{aligned} \text{Volumen de la mezcla por día (m}^3\text{)} &= \frac{\text{Volumen total de biomasa (kg/día)} \cdot 1 \text{ m}^3}{1.000 \text{ (kg)}} \\ 4,47 \text{ (m}^3\text{/día)} &= \frac{4.468,75 \text{ (kg/día)} \cdot 1 \text{ m}^3}{1.000 \text{ (kg)}} \end{aligned} \quad (9)$$

El tiempo que reside la mezcla dentro del biodigestor es de 50 días, por lo tanto, el volumen que se requiere para el almacenamiento de la biomasa durante 50 días se calcula en la Ecuación (10):

$$\begin{aligned} \text{Volumen requerido para la biomasa (m}^3\text{)} &= \text{volumen de la mezcla (m}^3\text{/día)} \cdot \text{tiempo de residencia de la mezcla (días)} \\ 233,44 \text{ (m}^3\text{)} &= 4,47 \text{ (m}^3\text{/día)} \cdot 50 \text{ (días)} \end{aligned} \quad (10)$$

En la Ecuación (11) se considera que el volumen de la mezcla debe ser un 75% del volumen total del biodigestor:

$$\begin{aligned} \text{Volumen del digestor (m}^3\text{)} &= \frac{\text{Volumen requerido para la biomasa (m}^3\text{)}}{0,75} \\ 297,92 \text{ (m}^3\text{)} &= \frac{223,44 \text{ (m}^3\text{)}}{0,75} \end{aligned} \quad (11)$$

Obteniendo un volumen total del biodigestor de  $297,92 \text{ (m}^3\text{)}$ , ocupando el volumen de la mezcla el 75% de espacio del biodigestor.

## 5.4 Cálculo de la producción de biogás y energía eléctrica

Para el cálculo de la producción de biogás y energía eléctrica se tiene en cuenta el valor anteriormente obtenido en la Ecuación(6) de la cantidad de biogás producido por día, se ha considerado que un  $1\text{m}^3$  de biogás produce  $1,3\text{KWh}$  de energía eléctrica. Y que  $1\text{m}^3$  de biogás genera  $0,255\text{KW}$  de demanda, estos valores considerados se representan en la Tabla 10

Tabla 10: Cálculo de la producción de biogás y energía eléctrica

CÁLCULO DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS Y ENERGÍA ELÉCTRICA		
Descripción	Unidad	Actual
Biogás producido por día	$\text{m}^3/\text{día}$	312,8
Considerando que $1\text{m}^3$ de biogás produce $1,3\text{KWh}$ de energía		
Energía eléctrica	$\text{KWh}/\text{día}$	406,64
Considerando que $1\text{m}^3$ de biogás genera $0,255\text{KW}$ de demanda		
Demanda generada	$\text{KW}/\text{día}$	79,76
Demanda mensual de energía	$\text{KW}$	60
Consumo mensual de energía eléctrica	$\text{KWh}$	10.500
Consumo diario de energía eléctrica	$\text{KWh}/\text{día}$	338,71
Energía excedente por día	$\text{KWh}/\text{día}$	67,93
Energía excedente por mes	$\text{KWh}$	2.105,84

Considerado que un  $1\text{m}^3$  de biogás produce  $1,3\text{KWh}$  de energía eléctrica, se obtiene en la Ecuación (12) que:

$$\begin{aligned} \text{Energía eléctrica } (\text{KWh}/\text{día}) &= \frac{\text{biogás producido por día } (\text{m}^3/\text{día}) \cdot 1,3 (\text{KWh})}{1 (\text{m}^3)} \\ 406,64 (\text{KWh}/\text{día}) &= \frac{312,8 (\text{m}^3/\text{día}) \cdot 1,3 (\text{KWh})}{1 (\text{m}^3)} \end{aligned} \quad (12)$$

Considerado que un  $1\text{m}^3$  de biogás genera  $0,255\text{KW}$  de demanda, y que la demanda mensual del centro equino es de  $60 \text{ KW}$  y el consumo mensual de energía eléctrica es de  $10.500 \text{ KWh}$  se obtiene en la Ecuación (13) un valor de demanda generada diaria de:

$$\begin{aligned} \text{Demanda generada } (\text{KW}/\text{día}) &= \frac{\text{biogás producido por día } (\text{m}^3/\text{día}) \cdot 0,255 (\text{KW})}{1 (\text{m}^3)} \\ 79,764 (\text{KW}/\text{día}) &= \frac{312,8 (\text{m}^3/\text{día}) \cdot 0,255 (\text{KW})}{1 (\text{m}^3)} \end{aligned} \quad (13)$$

En la Ecuación (14) se va a calcular el consumo diario de energía eléctrica considerando el mes con 31 días:

$$\text{Consumo diario de energía eléctrica (KWh)} = \frac{\text{consumo mensual de energía eléctrica (KWh)}}{31 \text{ (días)}}$$

$$338,71 \text{ (KWh)} = \frac{10.500 \text{ (KWh)}}{31 \text{ (días)}} \quad (14)$$

Los valores de la energía excedente calculados por día en la Ecuación (15) se obtienen de la diferencia entre la energía eléctrica que produce el biogás y el consumo diario de energía eléctrica:

$$\text{Energía excedente por día (KWh/día)} = \text{energía eléctrica (KWh/día)} - \text{consumo diario de energía eléctrica (KWh/día)}$$

$$67,93 \text{ (KWh/día)} = 406,64 \text{ (KWh/día)} - 338,71 \text{ (KWh/día)} \quad (15)$$

Por lo tanto, el resultado que se obtendrá de energía excedente cada día es de 67,93 KWh

## 5.5 Costes de producción

Para los costes de producción de energía eléctrica se ha tenido en cuenta precio del kilovatio hora (kWh) se fija cada día en función del mercado eléctrico diario (Tarifaluzhora.es, 2022). Estos valores y los resultados obtenido se reflejan en la Tabla 11:

Tabla 11: Costes de producción (Elaboración propia)

COSTES DE PRODUCCIÓN		
Descripción	Unidad	Actual
Energía excedente por mes	KWh	2.105,84
Precio del KWh en el mercado eléctrico	€/KWh	0,23097
Ingresos por venta de energía eléctrica	€/mes	486,39
Ahorro por energía autogenerada por biogás	€/mes	2.425,19
Ingresos totales de energía eléctrica	€/mes	2.911,57

Para el cálculo de los ingresos por venta de energía eléctrica al mes representado en la Ecuación (16), se tiene en cuenta la energía excedente del mes que se ha calculado en el apartado anterior de la Ecuación (15), y el precio del KWh en el mercado eléctrico:

*Ingresos por venta de energía eléctrica (€/mes) = energía excedente por mes (KWh) · precio del KWh en el mercado eléctrico (€/KWh)*

$$486,39(\text{€/mes}) = 2.105,84 (\text{KWh}) \cdot 0,23097 (\text{€/KWh}) \quad (16)$$

El ahorro por la energía reflejado en la Ecuación (17) que ha sido autogenerado por el biogás de nuestra planta viene dado, por el producto del consumo mensual de energía eléctrica y el precio del KWh en el mercado eléctrico:

*Ahorro por energía autogenerada por biogás (€/mes) = consumo mensual de energía eléctrica (KWh) · precio del KWh en el mercado eléctrico (€/KWh)*

$$2.425,19 (\text{€/mes}) = 10.500 (\text{KWh}) \cdot 0,23097 (\text{€/KWh}) \quad (17)$$

Los ingresos totales de energía eléctrica de la Ecuación (18) corresponden a la suma de los dos valores calculados recientemente en las Ecuaciones (16) y (17):

*Ingresos totales de energía eléctrica (€/mes) = ahorro por energía autogenerada por biogás (€/mes) + ingresos por venta de energía eléctrica (€/mes)*

$$2.911,57 (\text{€/mes}) = 2.425,19 (\text{€/mes}) + 486,39 (\text{€/mes}) \quad (18)$$

Como resultado de la suma de ambos valores, obtendremos unos ingresos totales mensuales de 2.911,57 €.

## Capítulo 6. ANÁLISIS DEL PROYECTO

El presente proyecto trata específicamente de la construcción de una planta de biogás en la zona de Burguillos de Toledo, provincia de Toledo. Un proyecto de planta de biogás pretende maximizar los ingresos minimizando la inversión. En el caso concreto del biogás, el tratamiento de residuos orgánicos puede suponer una actividad de importancia estratégica con los siguientes objetivos:

- Producir energía (electricidad o calor).
- Evitar/reducir emisiones de gases de efecto invernadero.
- Producir compuestos de valor económico.
- Contribuir a la calidad de los suelos y al reciclaje.

Para asegurar el éxito en la operación de una planta y consiguientemente una mínima rentabilidad económica es vital contemplar los siguientes aspectos:

- Marco legal.
- La disponibilidad y seguridad de los sustratos.
- La tecnología y diseño de ingeniería.
- La rentabilidad y modelo de negocio.

Si no hay seguridad en el suministro del sustrato con que producir combustible, no hay viabilidad de una planta que produce energía a partir de biogás. Por otro lado, habría que considerar, además, el coste de transporte a la planta. Con el objetivo de analizar si la puesta en marcha de la planta de biogás resultará factible o no, se tendrán en cuenta diversos factores:

- Análisis DAFO
- Planificación del proyecto
- Impacto medioambiental y social
- Análisis financiero
- Cronograma de actividades
- Seguridad de procesos
- Financiación del proyecto

### 6.1 Análisis DAFO

Para conocer la situación real en la que se encuentra el proyecto en el momento inicial, y en base a los resultados, planificar una estrategia de futuro se llevó a cabo un análisis DAFO, analizando sus características internas (Debilidades y Fortalezas) y su situación externa (Amenazas y Oportunidades) en una matriz cuadrada en la Figura 17.

La identificación de los pros y contras ayudará a establecer un plan de acción concreto. El objetivo será obtener un máximo rendimiento de las oportunidades y hacer frente a las

amenazas con las armas de las que se dispone en función de las debilidades y fortalezas del proyecto.



Figura 17: Análisis DAFO (Elaboración propia)

## 6.2 Planificación del proyecto

Además de conocer la situación real en la que se encuentra el proyecto en el momento inicial, planificando un análisis DAFO, analizando sus características internas y su situación externa. También, se van a realizar una serie de actividades que permitan tomar decisiones respecto de su desarrollo y forma de ejecución, así como para la definición de sus características finales. Para ello se propone el siguiente esquema de la de desarrollo del proyecto con sus macro etapas, que serán explicadas más adelante (Guía de Planificación para Proyectos de Biogás , 2012).

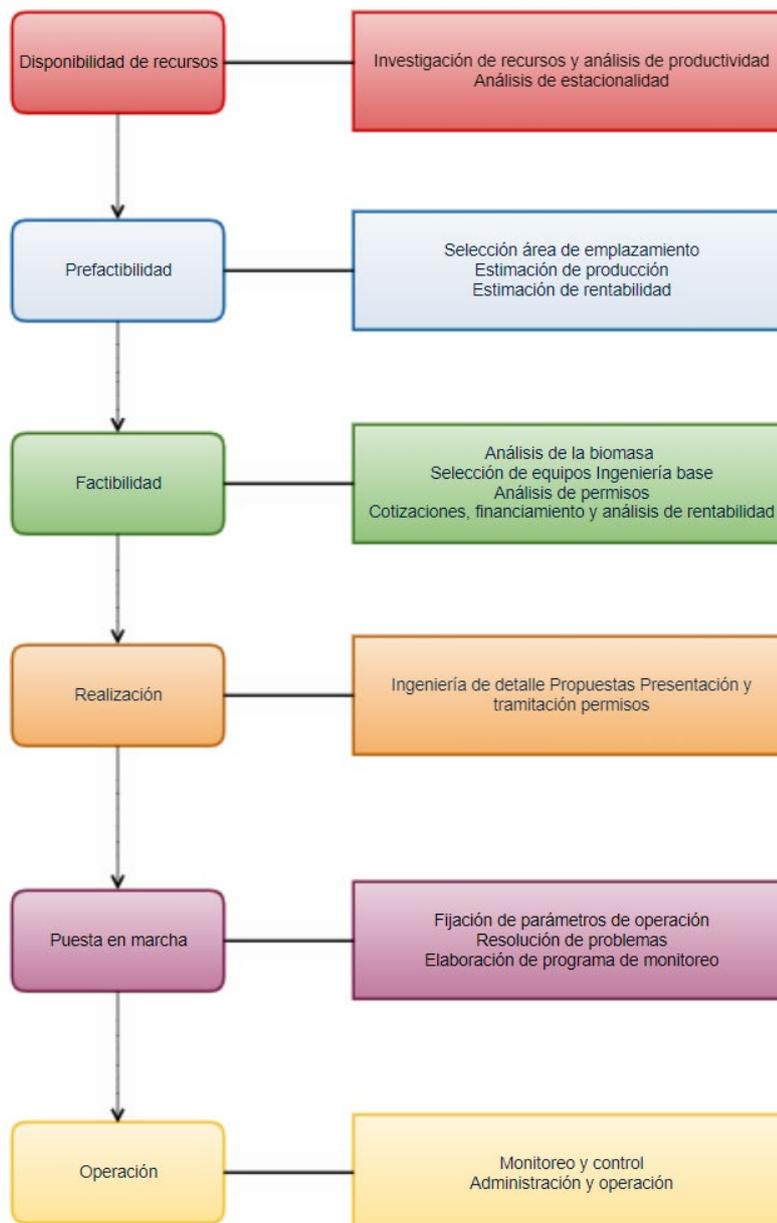


Figura 18: Esquema de planificación de la planta (Elaboración propia)

La primera etapa del esquema consiste en los recursos disponibles para la generación de biogás. En nuestro caso que se trata de recursos propios, el primer paso debe concentrarse en la recopilación de información respecto de la generación y disposición estos residuos. En general, es importante obtener información respecto a:

- Tipo de sustrato
- Cantidades y estacionalidad
- Características del residuo

En la segunda etapa del esquema sobre la prefactibilidad debe realizarse una evaluación de sitios disponibles para el emplazamiento de la planta. Los criterios fundamentales que hay que tener en cuenta para una preselección corresponden a:

- Disponibilidad de espacio
- accesibilidad vial
- Cercanía relativa a los puntos productores de la biomasa
- Precio de los terrenos
- Accesibilidad a la red eléctrica

En base a la información recopilada respecto de los recursos disponibles, debe determinarse conceptualmente el tipo de planta que se va a construir. Los parámetros más importantes que se deben tener en cuenta son:

- Sistema de digestión anaerobio (reactor)
- Estanques de almacenamiento de digestato
- Capacidad de calefacción

Si el análisis preliminar del proyecto muestra un potencial económico interesante, debe darse paso a un análisis de factibilidad técnico-económica con mayor grado de detalle a fin de minimizar los riesgos de inversión, pasando a la parte tres del esquema. Para este análisis es conveniente conocer las características particulares del residuo equino. De esta forma, pueden hacerse cálculos y proyecciones de productividad. Una vez ajustado el diseño conceptual a las características de la biomasa disponible, debe realizarse la ingeniería básica, a fin de determinar los costos de inversión y operación con un mayor grado de certeza.

En esta etapa se debe concretar la selección del lugar de emplazamiento, con miras a optimizar las condiciones de valorización de energía térmica producida. También es importante determinar la disponibilidad de material para la producción de biogás y la seguridad de su abastecimiento. Además, deben analizarse los permisos y el marco legal necesario para la construcción y operación de la planta.

Después de la etapa de factibilidad, se llevará a cabo la fijación de las características definitivas de la planta, reflejadas en los proyectos de ingeniería de detalle y construcción. Es posible que el diseño final necesite la participación de distintas empresas de ingeniería y construcción, así como de distintos proveedores de equipos. Durante la etapa de construcción deberán tomarse medidas para el aseguramiento de la calidad de las obras y el montaje de equipos. Respecto a los equipos, debe ponerse cuidado en la garantía ofrecida por los proveedores, así como de las posibilidades de contratos de mantenimiento de estos.

Las dos últimas etapas del esquema corresponden con la puesta en marcha y operación de la planta. En esta etapa del proyecto deben ajustarse los parámetros de operación de la planta, a fin de obtener un proceso biológico estable. Estos parámetros serán monitoreados a fin de llevar su registro histórico con el fin de observar el efecto de la variación de alguno de los parámetros en la calidad del proceso en su conjunto, lo que es de vital importancia para la solución de eventuales problemas en la operación posterior de la planta.

### **6.3 Impacto medioambiental y social**

Para la producción de biogás, se pueden utilizar algunos cultivos con alto valor energético, residuos agrícolas e industriales, residuos alimentarios y desechos de animales. Esta última es la posibilidad que se propone implementar en el presente trabajo de investigación. Al ser Toledo una ciudad rural ganadera por excelencia, con grandes extensiones de campo, y muy cercana a la capital del país, el producto proveniente de desechos de animales que es la materia prima básica para el proceso de biodigestión se obtiene en una cantidad suficiente para pensar en los beneficios económicos y ecológicos de implementar dicho sistema.

Las plantas de biogás consisten en digestores herméticos, equipados con un sistema de suministro de la materia utilizable para generar la energía, un sistema de calefacción especialmente diseñado, canalización y un sistema de aire, ventilación, gas y electricidad. Siendo el biogás, una mezcla gaseosa de dióxido de carbono y metano con trazas de otros elementos producido por medio de la digestión anaeróbica de la biomasa. Si el biogás es purificado de CO<sub>2</sub>, entonces se igualan sus propiedades a las del gas natural y se le conoce como biometano.

El biogás aparece entonces, como una importante alternativa que permite dar respuesta a varios problemas socioeconómicos. Desde proveer gas a toda una comunidad del medio rural, alejada de las redes de distribución, hasta grandes plantas de tratamiento de residuos orgánicos que abastezcan importantes cantidades de energía. A su vez, en muchos casos, dicho proceso genera un segundo producto de alto valor económico como son los biofertilizantes, que aportan nutrientes a los suelos y mejoran la sustentabilidad de la tierra.

Pensar en un proyecto de tecnologías limpias provoca un alto impacto sostenible en el ambiente y la gente. Entre los beneficios del biogás es posible enumerar:

- Solución para los residuos urbanos
- Reducción de los gases de Efecto Invernadero
- Disminución de emisiones de CO<sub>2</sub>
- Eliminación de olores
- Ahorro por la generación de energía eléctrica y/o térmica
- Creación de puestos de trabajo
- Generación de gas metano para uso vehicular
- Generación de energía eléctrica limpia
- Producción de fertilizante

Las energías renovables son aquellas que se caracterizan por no utilizar combustibles fósiles, sino recursos naturales que pueden renovarse ilimitadamente; son el presente y el futuro de la producción de electricidad mundial. Desde de la Revolución Industrial, el consumo de fuentes de energías no renovables ha marcado el desarrollo de la sociedad, convirtiendo al sector

energético en una rama estratégica de cualquier economía. La energía es fundamental para el desarrollo y prestación de servicios que cubran las necesidades humanas básicas, tales como el acceso al agua potable, la salud, la vivienda y, principalmente, un nivel de vida mejor.

Las sociedades de todo el mundo son consumidoras de energía, pero la realidad es que la mayor parte de la energía consumida procede de fuentes no renovables, como los combustibles fósiles y la energía nuclear, que tiene un impacto negativo sobre el medio ambiente. En cuanto las energías renovables, un aspecto a destacar es que pueden ser aplicadas y explotadas a nivel local, lo que ayuda a minimizar la dependencia de la población de los grandes productores de energía, lo que es beneficioso para el desarrollo económico y el empleo.

La utilización de energías renovables requiere de una garantía de desarrollo sostenible: la utilización de un modelo energético que satisfaga las necesidades actuales, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras, al tener en cuenta el tamaño económico (crecimiento económico), intensidad social (progreso social) e intensidad medioambiental (protección ambiental y uso racional de los recursos).

Es importante saber que en el aspecto social el uso de energías renovables genera distintos beneficios como la creación de empleos regionales; acceso a electricidad, estufas y calentadores a través de energía solar o biogás, mejorando el nivel de vida de áreas remotas; una mejor salud debido a una menor contaminación; y una mejora técnica o profesional debido al grado de especialización requerido para instalar o crear energías renovables.

Sin embargo, no todos los impactos son positivos. Hay obstáculos para el desarrollo de las energías renovables, como la falta de una cultura de transición, metodologías para la administración de riesgos, la creación de modelos para promover la inversión, además de estructuras legales e institucionales de financiamiento que promuevan proyectos de energías limpias.

## **6.4 Análisis financiero**

En todo proyecto existe una inversión necesaria para poner en marcha el funcionamiento de la planta. Esta inversión deberá ajustarse lo máximo posible, buscando el equilibrio que permita contar con una estructura económica (activos) lo suficientemente firme como para poder desarrollar correctamente la actividad, pero evitando sobredimensionar la empresa, ya que esto (exceso de inversión inicial), podría disminuir la rentabilidad económica del proyecto. Para conseguir cuantificar en su justa medida el correcto volumen de inversiones iniciales, se hace indispensable desarrollar un presupuesto de inversión, en el cual se desglose uno a uno los elementos de inversión que serán necesarios. En el siguiente apartado, se desglosará el presupuesto de inversión necesario para llevar a cabo el proyecto (Pérez, 2021).

### **6.4.1 Inversión en activos fijos**

Los activos fijos son un bien de una empresa, ya sea tangible o intangible, que no puede convertirse en líquido a corto plazo, son necesarios para el funcionamiento de la empresa y no se destinan a la venta. En cualquier tipo de empresa se pueden diferenciar dos tipos de activos fijos que van a ser calculados a continuación:

Dentro de la categoría de **activos fijos tangibles** se incluyen todos aquellos bienes y materiales que se pueden tocar:

- Terrenos y bienes naturales: terrenos que se posee.
- Construcciones: hace referencia a todo tipo de inmuebles.
- Instalaciones técnicas: todos aquellos elementos que, en conjunto, constituyen una unidad de uso especializada necesaria para la actividad de la empresa. Se trata de montajes en cadena y otro tipo de construcciones similares.
- Maquinaria: se incluyen todas aquellas máquinas, vehículos industriales y herramientas necesarias para la actividad cotidiana.
- Mobiliario: todas las estanterías, mesas, sillas, mostradores y demás muebles que posee la empresa.
- Equipos para procesos informáticos: compuesto por ordenadores, impresoras, escáner y demás aparatos electrónicos.
- Elementos de transporte: dentro de esta categoría se encuentran todos los medios de transporte que formen parte de los bienes de la compañía, habrá dos camiones utilizados para el transporte del residuo equino y un coche para el transporte de personas.

Para el cálculo de estos activos fijos tangibles recientemente descritos se ha llevado a cabo la siguiente Tabla 12:

*Tabla 12: Activos fijos tangibles (Elaboración propia)*

ACTIVOS FIJOS TANGIBLES		
Descripción	Unidad	Actual
Terrenos y bienes naturales	€/m <sup>2</sup>	1.438.420
Construcciones	€	135.000
Instalaciones técnicas	€	6.600
Maquinaria, equipos y elementos estáticos (instalación)	€	1.322.203
Mobiliario	€	1.500
Equipos para procesos informáticos	€	2.200,00
Elementos de transporte	€	200.000
<b>TOTAL ACTIVOS FIJOS TANGIBLES</b>	€	<b>3.105.923</b>

Los **activos fijos intangibles** hacen referencia a aquellos bienes y derechos que no son físicos y no se pueden tocar, calculados en la Tabla 13:

- Patentes: derecho que te otorga un permiso especial y exclusivo, para vender o fabricar un producto o servicio
- Licencias y permisos: se trata de autorizaciones a través de las que se concede el uso de bienes diferentes, como el caso de recursos software para la empresa, materia prima, mano de obra y reposición de activos fijos.

Tabla 13: Activos fijos intangibles (Elaboración propia)

ACTIVOS FIJOS INTANGIBLES		
Descripción	Unidad	Actual
Patente	€	200
Licencias y permisos	€	30.000
<b>TOTAL DE ACTIVOS FIJOS INTANGIBLES</b>	€	30.200

Dentro de los activos fijos tangibles, se calculó el valor del terreno que se posee para la instalación de la planta, para esto se realizó el producto entre las 106 hectáreas de terreno donde se va a construir la planta y el precio de  $1,357 \text{ €/m}^2$  del terreno que se posee, cuyo valor se refleja en la Tabla 12. La instalación de la planta de biogás se plantea en el municipio de Burguillos de Toledo, provincia de Toledo. La misma se encuentra ubicada al sur de la capital de Madrid. La ubicación de la planta fue elegida de tal manera que estuviese cerca de la generación del sustrato para evitar los costos de traslado de este. Y por ser un terreno heredado por el que no se ha invertido en su compra

Para saber cuántos metros cuadrados se requieren para la instalación de la planta se empleará el método de Guerchet, con el cual se calcularán los espacios físicos que requerirá la planta. Es necesario identificar el número total de maquinarias, equipos y elementos estáticos. Éste es un método de cálculo que para cada elemento a distribuir supone que su superficie total necesaria se calcula como la suma de tres superficies parciales que contemplan la superficie estática, la superficie de gravitación y la superficie de evolución o movimientos.

- Superficie estática ( $S_s$ ): es la superficie correspondiente a los muebles, máquinas e instalaciones.

$$S_s = \text{largo} \cdot \text{ancho}$$

- Superficie de gravitación ( $S_g$ ): es la superficie utilizada alrededor de los puestos de trabajo por el obrero y por el material utilizado para las operaciones. Esta superficie se obtiene para cada elemento multiplicando la superficie estática por el número de lados a partir de los cuales el mueble o la máquina deben ser utilizados.

$$S_g = S_s \cdot N$$

- Superficie de evolución ( $S_e$ ): es la superficie que hay que reservar entre los puestos de trabajo para los desplazamientos del personal y para la manutención.

$$S_e = (S_s + S_g) \cdot K$$

Donde K es el Coeficiente constante, para la realización de los cálculos se tomará un valor de 2,5.

- Superficie total: es la suma de todas las superficies.

En la Tabla 14 se calculan los espacios físicos que requerirá la planta. Para ello, se lleva a cabo el cálculo de las tres superficies parciales de cada maquinaria, equipo y elementos estáticos. Y

al área total necesaria que se calcula como la suma de tres superficies parciales que están compuesta por la superficie estática, la superficie de gravitación y la superficie de evolución o movimientos. Dando como resultado el área total requerida

Tabla 14: Análisis Guerchet (Elaboración propia)

ANÁLISIS GUERCHET				
Equipo	Ss (m <sup>2</sup> )	Sg (m <sup>2</sup> )	Se (m <sup>2</sup> )	Área total (m <sup>2</sup> )
Pasteurizador de sólidos	6	24	75	105
Pasteurizador de líquidos	3,60	14,40	45	63
Trituradora	0,45	1,80	5,63	7,88
Bomba 1	0,05	0,20	0,63	0,88
Bomba 2	0,10	0,40	1,25	1,75
Bomba 3	0,10	0,40	1,25	1,75
Biodigestor	175	700	2187,50	3062,50
Sedimentador	114	456	1425	1995
Compresor 1	6	24	75	105
Compresor 2	4,50	18	56,25	78,75
Compresor 3	4,50	18	56,25	78,75
Torre de absorción con agua	0,80	3,20	10	14
Torre de desorción	1,20	4,80	15	21
Tanque de venteo	1	4	12,50	17,50
Destilador	1	4	12,50	17,50
Deshidratador	2,20	8,80	27,50	38,50
Torre de regeneración	5,20	20,80	65	91
Caldera	20	80	250	350
Condensador	3	12	37,50	52,50
Reboiler	5,50	22	68,75	96,25
Intercambiador 1	0,30	1,20	3,75	5,25
Intercambiador 2	1,47	5,88	18,38	25,73
Intercambiador 3	4,72	18,88	59	82,60
Intercambiador 4	2,55	10,20	31,88	44,63
Intercambiador 5	2,63	10,52	32,88	46,03
Intercambiador 6	4,72	18,88	59,00	82,60
<b>TOTAL ÁREA REQUERIDA</b>				<b>6485</b>

Por lo tanto, para la instalación de la planta se requieren una superficie mínima de 6.485 m<sup>2</sup>. A pesar de haber calculado el valor del terreno anteriormente, el mismo no se tendrá en cuenta para la inversión fija total ya que es un terreno heredado sin ningún gasto. El terreno cuenta con una superficie anteriormente calculada en la Figura 10 de 1.060.000 m<sup>2</sup> espacio de sobra para la construcción de la planta.

Para el cálculo de la inversión en los equipos necesarios para la producción de biogás se utilizaron fuentes de páginas de venta online de los equipos necesarios para la construcción de la planta (Aprovis, 2022), (SACOME, 2022) y (Aqualimpia, 2021).

En la Tabla 15 se muestra el detalle de la inversión de cada equipo:

Tabla 15: Inversión de equipos (Elaboración propia)

Equipo	Inversión (€)
Pasteurizador de sólidos	62.500,00
Pasteurizador de líquidos	21.850,00
Trituradora	1.855,00
Bomba 1	145,00
Bomba 2	270,65
Bomba 3	271,65
Biodigestor	260.850,00
Sedimentador	18.560,56
Compresor 1	45.670,16
Compresor 2	22.459,86
Compresor 3	22.460,86
Torre de absorción con agua	69.120,50
Torre de desorción	31.250,97
Tanque de venteo	40.963,00
Destilador	25.545,00
Deshidratador	41.236,87
Torre de regeneración	95.864,25
Caldera	155.681,31
Condensador	16.544,00
Reboiler	90.120,00
Intercambiador 1	3.356,87
Intercambiador 2	4.150,00
Intercambiador 3	28.753,65
Intercambiador 4	6.452,87
Intercambiador 5	7.145,99
Intercambiador 6	28.756,65
<b>INVERSIÓN TOTAL EQUIPOS</b>	<b>1.101.835,67</b>

Dentro de la inversión de los equipos hay que tener en cuenta el coste de la instalación de estos. Ante falta de información, del coste de las instalaciones de los equipos se ha estimado un coste del 20% del valor de estos. Luego el coste vendrá dado por la Ecuación (19).

$\text{Coste de la instalación (€)} = 0,2 \cdot \text{inversión total de equipos(€)}$ $220.367,134 \text{ (€)} = 0,2 \cdot 1.101.835,67 \text{ (€)}$	(19)
--	------

Por lo tanto, en la Ecuación (20) se halla el valor de la inversión en equipos instalados en la planta que será la suma de la inversión total de los equipos y el coste de la instalación de estos:

Inversión en equipos instalados (€) = inversión total de los equipos (€) + coste de la instalación de estos(€)

$$1.322.202,804 (\text{€}) = 1.101.835,67 (\text{€}) + 220.367,134 (\text{€})$$

(20)

La **inversión fija total** se calcula como la suma de la inversión de los activos fijos tangibles e intangibles que corresponde con la suma de los valores totales calculados en las Tabla 12 y Tabla 13. Dentro de los activos fijos tangibles hay que tener en cuenta los valores calculados del terreno y la inversión en los equipos y su instalación. Aunque se hizo un cálculo del valor del terreno, se va a obviar de la inversión fija ya que es un terreno heredado. El valor de la inversión fija total corresponde con la siguiente Ecuación (21):

*Total de inversion activos fijos (€) = activos fijos tangibles (€) + activos fijos intangibles(€)*

$$3.136.123 (\text{€}) = 3.105.923 (\text{€}) + 30.200 (\text{€})$$

(21)

Teniendo un total de 3.136.123 € de activos fijos, tangible e intangible, que no puede convertirse en líquido a corto plazo, necesarios para el funcionamiento de la empresa.

#### **6.4.2 Capital de trabajo**

El capital de trabajo es una magnitud contable referida a aquellos recursos económicos con los que cuenta una empresa dentro de su patrimonio para afrontar compromisos de pago en el corto plazo y relacionados con su actividad económica. Se cuenta con los siguientes:

- Caja/Bancos
- Existencias
- Cuentas por cobrar a corto plazo
- Cuentas por pagar a corto plazo
- Cuentas por pagar a largo plazo
- Créditos a los compradores
- Créditos a los proveedores

En general, se considera al capital de trabajo como el 10% de la inversión fija total, es una estimación aproximada. Para el cálculo del capital de trabajo en la Ecuación(22), se va a tener en cuenta el valor obtenido de la inversión en activos fijos total de la Ecuación (21):

*Capital de trabajo (€) = 0,1 · inversión fija total (€)*

$$313.612,208(\text{€}) = 0,1 \cdot 3.136.122,804 (\text{€})$$

(22)

Siendo un total de recursos económicos con los que cuenta la empresa dentro de su patrimonio para afrontar compromisos de pago en el corto plazo y relacionados con su actividad económica, de 313.612,208 €.

### **6.4.3 Inversión total**

Una vez calculados todos los conceptos anteriores, se va a llevar a cabo la siguiente Ecuación (23) con la inversión total que resulta del capital de trabajo y la inversión total de activos fijos:

$$\text{Inversión total (€)} = \text{Capital de trabajo (€)} + \text{inversión fija total (€)}$$

$$3.449.735,208 \text{ (€)} = 313.612,208 \text{ (€)} + 3.136.123 \text{ (€)}$$

(23)

Habiendo tenido en cuenta tanto el capital de trabajo y la inversión fija total, calculados anteriormente, se obtiene una inversión total de 3.449.735,208 €.

### **6.4.4 Costes de operación**

Además del cálculo de la inversión total de la planta, hay que calcular los costes de operación de esta. Estos costes representan los costes de producción del biogás. Se diferencian dos tipos de costes, los costes variables que dependen del nivel de producción y los costes fijos, que son independientes de la cantidad producida de biogás, la empresa no puede prescindir de este tipo de gastos ya que son indispensables para la actividad que se lleva a cabo. Es importante distinguir entre los costes variables y fijos, para darle a cada uno el tratamiento que requiere a nivel financiero. Hacer un correcto seguimiento de estos permite, además, tomar una decisión frente al modo de gestionar la empresa y medir (Llamas, 2021):

- La rentabilidad del negocio.
- El peso de sus diversos costes sobre el volumen de negocio.

Dentro de los costes variables, se van a diferenciar los siguientes:

#### **6.4.4.1 Materia prima**

La principal materia prima en la producción del biogás de la planta son los residuos equinos provenientes de una finca particular, por lo cual son provistos sin coste alguno.

#### **6.4.4.2 Gastos de transporte**

En la Tabla 12 de los activos fijos tangibles, se tiene una inversión de 200.000 € de elementos de transporte. Esto corresponde con la compra de dos camiones para el transporte de la

materia prima hasta la planta de biogás. Este coste de envío corresponde con los gastos variables de transporte. Se puede hacer una estimación de este gasto, ya que el precio del diésel varía constantemente.

Para el cálculo de los gastos de transportes anuales, se va a considerar que se hace un transporte semanal de materia prima a la planta, sabiendo que la distancia que hay desde la finca hasta la planta es de 100 km como se ve en la Figura 11, y que el precio del diésel es de 2,079 €/l aproximadamente y que la media de consumo de un camión es de 35 litros cada 100 km. Ya que un año tiene una media de 52 semanas, el cálculo del gasto de transporte vendrá dado en la Ecuación (24):

$$\begin{aligned} \text{Gastos de transporte anuales (€)} &= \left[ \text{distancia (km)} \cdot \text{diésel } \frac{\text{€}}{\text{l}} \cdot \frac{35 \text{ l}}{100 \text{ km}} \right] \cdot 52 \text{ semanas} \\ 7.567,56(\text{€}) &= \left[ 200 \text{ (km)} \cdot 2,079 \frac{\text{€}}{\text{l}} \cdot \frac{35 \text{ l}}{100 \text{ km}} \right] \cdot 52 \text{ semanas} \end{aligned} \quad (24)$$

Para calcular el coste variable total, debemos sumar todos aquellos costes que están relacionados con nuestro nivel de producción. Si queremos calcular el coste variable unitario, debemos dividir los costes variables totales y la cantidad de unidades producidas. De esta forma, obtendremos el resultado del coste variable por unidad como se observa en la Ecuación (25). La cantidad de biogás producida se calculó anteriormente en la Ecuación (6), dando un valor de 312,8  $\frac{\text{biogás}}{\text{día}}$ , que va a ser multiplicado por los 35 días que contiene un año:

$$\begin{aligned} \text{Coste variable unitario anual } (\text{€}/\text{m}^3) &= \frac{\text{materia prima} + \text{utilidades y servicios} + \text{gastos de transporte}}{\text{cantidad de biogás producida}} \frac{\text{€}}{\text{m}^3} \\ 0,0663 (\text{€}/\text{m}^3) &= \frac{7.567,56 \text{ €}}{114.172} \frac{\text{€}}{\text{m}^3} \end{aligned} \quad (25)$$

Dentro de los costes fijos del proyecto, los cuales no van a sufrir cambios si hay mayor o menor nivel de producción en el emprendimiento, vamos a encontrar los siguientes:

#### 6.4.4.3 Utilidades y servicios

- **Gas:** se considera que el mayor consumo está dado por la caldera de la planta. Este resulta nulo, debido a que la caldera es abastecida con parte del biogás generado en la planta.
- **Electricidad:** en los cálculos de energía eléctrica se tuvo en cuenta que la demanda mensual del centro equino es de 60 KW y el consumo mensual de energía eléctrica es de 10.500 KWh. Como se planteó la autosostenibilidad de la planta este concepto será nulo.

- **Agua:** el consumo de agua requerido para la producción de biogás será obtenido mediante tres pozos, que se encuentran en la localización donde se va a llevar a cabo la construcción de la planta, del arroyo de la rosa que proviene del río Tajo.

#### 6.4.4.4 *Mano de obra*

Dentro de los costes variables hay que tener en cuenta los salarios del personal. La planta de biogás cuenta con cuatro empleados y un supervisor. Este último es el responsable de la supervisión directa de las distintas operaciones. La magnitud de la supervisión del proceso que se implementa en una planta está estrechamente vinculada con la cantidad total de mano de obra, la complejidad de la operación y los niveles de calidad de los productos. El coste de supervisión puede considerarse como un 15% más del coste de la mano de obra directa.

Por lo tanto, considerando que los cuatro empleados cobren el sueldo mínimo que son 1.000 euros brutos mensuales. Y el supervisor un 15% más, de este. El coste total de la mano de obra se desarrolla en la siguiente Ecuación (26):

$$\begin{aligned} \text{Mano de obra (€)} &= 4 \text{ empleados} \cdot 1.000 \text{ €/empleado} + \text{empleado supervisor} \\ 5.150 \text{ (€)} &= 4 \cdot 1.000 + (1.000 + 1.000 \cdot 0,15) \end{aligned} \tag{26}$$

El coste de mano de obra mensual, de los cuatro empleados y el supervisor es de 5.150 €.

#### 6.4.4.5 *Servicios profesionales*

Dentro de los costes fijos, se van a destinar 3.000 € anuales a los gastos de servicios profesionales, como por ejemplo a los gastos de abogados y gastos de asesoría.

#### 6.4.4.6 *Conservación y seguros*

Dentro de esta categoría se encuentran todos los medios de conservación y seguros de los elementos de transporte que forman parte de los bienes de la compañía, habrá dos camiones utilizados para el transporte del residuo equino y un coche para el transporte de personas. Por lo tanto, aquí se incluirá el seguro de ambos y las Inspecciones Técnicas de Vehículos (ITV) respectivas (ITV, 2022) y (Selectra, 2022):

- La ITV de los camiones pesados de más de 3.500 kg, está en torno a 52,41€. Al ser camiones con 6 años de antigüedad, la inspección se pasará anualmente obligatoriamente.
- La ITV del coche de empresa tiene un precio de media de 22,11€, al ser un vehículo catalizado. Como el coche tiene 5 años, la ITV se pasa de forma bienal.

Estos precios de ITV son de las estaciones manchegas ya que su precio es menos que en las de la Comunidad de Madrid.

Con respecto a los seguros, el coche de empresa tendrá un seguro a todo riesgo cuyo precio anual es 329€. Y ambos camiones de transporte estarán a asegurados a terceros, que tendrá un precio cada seguro de uno 670€

El precio total de la conservación y seguros se calcula como la suma de todo, en la siguiente Ecuación (27):

$$\begin{aligned} \text{Precio total conservación y seguros (€)} &= \text{ITV (€)} + \text{seguros (€)} \\ 1.732,465 \text{ (€)} &= \left[ 52,41 + \frac{22,11}{2} \right] \text{ (€)} + [329 + 670 \cdot 2] \text{ (€)} \end{aligned} \quad (27)$$

Habiendo calculado los costes fijos y variables de la empresa, la suma de ambos será el coste total, como representa la siguiente Ecuación (28):

$$\begin{aligned} \text{Coste total anual (€)} &= \sum \text{costes variables (€)} + \sum \text{costes fijos (€)} \\ 17.450,03 \text{ (€)} &= 7.567,56 \text{ (€)} + 5.150 \text{ (€)} + 1.732,47 \text{ (€)} + 3.000 \text{ (€)} \end{aligned} \quad (28)$$

El coste total anual de la empresa, en el que se tiene en cuenta tanto los costes fijos y los variables corresponde con 17.450,03 €.

Un gráfico circular es una manera visual de mostrar la información que se escribe en porcentajes. El círculo del gráfico circular representa el 100%. En el gráfico de la Figura 19 se representa el peso de los costes fijos y los costes variables. Las partes de cada coste se grafican en forma de cuñas. Cada cuña muestra qué parte del 100 representa el objeto. Observando el gráfico se ve que los costes variables representan un mayor volumen, casi duplicando a los fijos, en el total de los costes de operación.



Figura 19: Costes variables y fijos (Elaboración propia)

En el gráfico circular de la Figura 20 se muestra la información en porcentajes de los diferentes tipos de costes fijos y variables. El círculo del gráfico circular representa el 100%. Y dentro de los costes de operación, aparece representados porcentualmente todos los tipos de costes. La materia prima y las utilidades de servicios representan 0% de los costes, como se ha mencionado en los apartados anteriores. Los servicios profesionales, la mano de obra y la conservación y seguros, corresponden con gastos fijos y los gastos de transporte con gastos variables.



Figura 20: Costes de operación (Elaboración propia)

## 6.5 Cronograma de actividades

Después de haber desarrollado el esquema de la planificación del proyecto de la Figura 18, con las macro etapas que permiten tomar decisiones respecto de su desarrollo y forma de ejecución. A continuación, se va a desarrollar un cronograma de actividades para establecer la duración de las distintas actividades del proyecto, con la fecha de inicio y final de cada tarea, con el fin de organizar el trabajo y llevar a cabo un proyecto eficiente. El cronograma propuesto en la Figura 21 se va a realizar en los primeros 18 meses de la realización del proyecto.

Etapas del proyecto /meses	2	4	6	8	10	12	14	16	18
Desarrollo del proyecto - Fase inicial (Ing. Básica)	■								
Desarrollo del proyecto - Fase intermedia (Ing. Básica)		■							
Desarrollo del proyecto - Fase final (Ing. De Detalle)			■						
Obras civiles				■					
Compra de equipos					■				
Montaje eléctrico						■			
Montaje de equipos							■		
Reclutamiento y selección del personal						■			
Capacitación del personal							■		
Puesta en marcha								■	

Figura 21: Cronograma de actividades (Elaboración propia)

## 6.6 Seguridad de procesos

Para garantizar una seguridad en la planta, la administración de seguridad de proceso se enfoca en el diseño y la ingeniería de las instalaciones, evaluación de riesgos, investigación de incidentes, inspección, ensayos y mantenimiento de equipos, controles efectivos de proceso y alarmas, procedimientos de operación y mantenimiento, entrenamiento del personal, y factores humanos. No todos los riesgos tienen el potencial de causar consecuencias similares. Hay riesgos personales, como resbalar, caer, cortarse y accidentes vehiculares, que normalmente sólo afectan a un trabajador cada vez que se producen. Por otra parte, los riesgos de seguridad de procesos pueden causar accidentes mayores, incluyendo la emisión de materiales potencialmente peligrosos, incendios y explosiones, o ambos. Estos riesgos pueden tener efectos catastróficos, y pueden resultar en múltiples heridos y fatalidades, como también en substanciales daños económicos, al medio ambiente y a la propiedad. El objetivo principal de este capítulo será aplicar la metodología Hazard and Operability (HAZOP), es una metodología con la finalidad de detectar las situaciones de inseguridad en la planta. Fue creado originalmente por la Imperial Chemical Industries (ICL) en 1963 para su aplicación en el diseño de plantas para la fabricación de pesticidas (Dekra, 2019).

La técnica se basa en la premisa de que los accidentes se producen como consecuencia de una desviación de las variables del proceso con respecto de los parámetros normales de operación. El método consiste en analizar sistemáticamente las causas y las consecuencias de unas desviaciones de las variables de proceso.

La primera fase del estudio HAZOP consiste en delimitar las áreas a las cuales se aplica la técnica. Después se llevará a cabo la definición de los nodos, en cada subsistema se identificarán una serie de puntos claramente localizados en el proceso. Y, por último, para cada nodo se planteará de forma sistemática las desviaciones de las variables de proceso aplicando a cada variable una palabra guía. A continuación, se muestra el resultado de la aplicación del Método HAZOP a la planta, resumido en las siguientes tablas:

Tabla 16: Método HAZOP en la cinta transportadora de sólidos (Elaboración propia)

Nodo	Desviación	Causa	Consecuencia	Medidas
Cintra transportadora de sólidos	Alta velocidad	Aumento de las rpm del motor	Caída de materiales	Alarmas de aumento de velocidad y control de velocidad
	Baja velocidad	Disminución de las rpm del motor	Atascos	Alarmas de descenso de velocidad y control de velocidad
		Aumento de la carga en la cinta		
	Desnivel de la cinta	Desajuste de tornillos de tracción	Caída de materiales	Control de caída de materiales
	Sin velocidad de transporte	Falta de lubricación	Rebalse del material de carga	Alarma de detención de la cinta
		Avería del motor		
		Desajuste de tornillos de tracción		
	Incremento del ruido	Desajuste de piezas	Molestias al personal y alteración de la comunicación	Lubricar periódicamente y revisar el ajuste de piezas
Falta de lubricación				

Tabla 17: Método HAZOP en la trituradora (Elaboración propia)

Nodo	Desviación	Causa	Consecuencia	Medidas
Trituradora	Alta velocidad de trituración	Aumento de la tensión de alimentación	Partículas menores a 8 mm e inhibiciones de la digestión	Implementar regulador de tensión
	Baja velocidad de trituración	Disminución de la tensión de alimentación	Partículas mayores a 50 mm y mayor tiempo de hidrólisis en el reactor	Implementar regulador de tensión
	Velocidad de trituración nula	Avería de la trituradora	Detención del proceso productivo, atascamiento y rebalse	Alarma de detención y grupo electrógeno auxiliar
		Corte de energía eléctrica		
	Incremento del ruido	Falta de lubricación	Molestias al personal y alteración de la comunicación oral	Lubricar periódicamente y revisar el ajuste de las piezas
Desajuste de piezas				

Tabla 18: Método HAZOP en las bombas (Elaboración propia)

Nodo	Desviación	Causa	Consecuencia	Medidas
Bombas	Alta presión	Obstrucción en la descarga	Daños mecánicos	Alarma para presión
	Baja presión	Obstrucción de la admisión	Daños mecánicos, ruidos y vibraciones	Implementación de un manómetro en la admisión de la bomba
	Alta temperatura	Falta de lubricación de piezas móviles, desajuste de piezas y obstrucción de la descarga	Daños mecánicos, ruido y vibraciones	Controles periódicos de niveles de lubricantes y verificación del estado del lubricante
	Alto ruido	Falta de lubricación de piezas móviles, desajuste de piezas y obstrucción de la descarga	Daños mecánicos, molestias del personal y alteración de la comunicación oral	Controles periódicos de niveles de lubricantes y verificación del estado del lubricante
	Caudal nulo	Falta de alimentación eléctrica y obstrucción de la tubería de admisión	Aumento del consumo de corriente	Implementación de caudalímetro para control

Tabla 19: Método HAZOP en los compresores (Elaboración propia)

Nodo	Desviación	Causa	Consecuencia	Medidas
Compresores	Alta presión	Aumento de las rpm del motor	Fugas de gas, explosión y deterioro de las tuberías	Válvulas de reducción de presión y alarmas indicadoras de alta presión
	Baja presión	Disminución de las rpm del motor, falta de lubricación de piezas, desajuste de piezas y pérdida de sellado	Producción de biogás impuro	Alarmas indicadoras de baja presión y lubricación periódica de piezas
	Incremento de ruido	Falta de lubricación de piezas y desajuste de piezas	Molestias al personal y alteración de la comunicación	Lubricar periódicamente y revisar el ajuste de las piezas y uso de elementos de protección auditiva

Tabla 20: Método HAZOP en los biodigestores (Elaboración propia)

Nodo	Desviación	Causa	Consecuencia	Medidas
Biodigestores	Alta presión	Obstrucción en la descarga de biogás	Posible explosión y deformación de la estructura	Válvula de alivio de presión, manómetros y alarmas indicadoras de alta presión
	Alta temperatura	Aumento de la velocidad de agitación y condiciones climáticas imprevistas	Muerte de microorganismos	Manómetros indicadores de caída de presión, válvula de alivio de presión de gas y termostato para condiciones extremas de temperatura
	Baja temperatura	Agitado deficiente y condiciones climáticas extremas	Muerte de microorganismos mesolíticos y disminución de la producción de biogás	Control de velocidad y termostato para condiciones extremas de temperatura
	Incremento del olor	Fugas por averías	Daños medioambientales, pérdidas de producción y molestias al personal	Inspección y controles periódicos estructurales
	Alta agitación	Aumento de las rpm del motor	Aumento de la temperatura del digestor y disminución de la producción	Control de velocidad (variador de velocidad de frecuencia del voltaje del motor)
	Baja agitación	Disminución de las rpm del motor	Disminución de la temperatura del digestor, disminución de la producción y formación de costras	Control de velocidad (variador de velocidad de frecuencia del voltaje del motor)
	Agitación nula	Corte de energía eléctrica y averías mecánicas del motor	Disminución de la temperatura del digestor, disminución de la producción y formación de costras	Uso de grupo electrógeno auxiliar y motor de reemplazo

Tabla 21: Método HAZOP en el sedimentador (Elaboración propia)

Nodo	Desviación	Causa	Consecuencia	Medidas
Sedimentador	Subida de nivel	Cuadral de entrada mayor al de salida	Rebalse del material	Alarma de nivel máximo permitido e implementar un control de nivel mediante una válvula mecánica
	Bajada de nivel	Válvula de entrada cerrada o alimentación obstruida	Menor ingreso de sustrato que genera menor producción de biogás	Alarma de nivel mínimo permitido e implementar un control de nivel mediante una válvula mecánica

Tabla 22: Método HAZOP en la caldera (Elaboración propia)

Nodo	Desviación	Causa	Consecuencia	Medidas
Caldera	Alta presión	Obstrucción de la cañería de salida y aumento de la temperatura	Riesgo de explosiones y averías estructurales	Sistema de control de presión, válvulas de alivio y alarmas de indicadores de máxima presión admisible
	Baja presión	Disminución de la temperatura y avería estructural de las cañerías	Déficit en el requerimiento calorífico de los procesos y disminución de la temperatura	Sistema de control de presión, válvulas de alivio y alarmas de indicadores de mínima presión admisible
	Alta temperatura	Disminución del caudal del agua de entrada y aumento de la presión	Daños estructurales y riesgo de explosión	Control de temperatura, indicadores y alarmas de máxima temperatura admisible
	Baja temperatura	Aumento del caudal del agua y disminución de la presión	Déficit en el requerimiento calorífico de los procesos y disminución de la presión	Control de temperatura, indicadores y alarmas de mínima temperatura admisible
	Disminución del caudal del agua	Menor % de apertura de la válvula de entrada de agua y averías en la bomba impulsora	Aumento de la temperatura de salida, disminución del caudal de vapor y déficit en el requerimiento calorífico	Control de caudal de agua de ingreso, alarma y control de temperatura máxima admisible
	Aumento del caudal del agua	Mayor % de apertura de la válvula de entrada de agua y aumento de las rpm de la bomba	Disminución de la temperatura de salida y déficit en el requerimiento calorífico	Control de caudal de agua de ingreso, alarma y control de temperatura mínima admisible

Tabla 23: Método HAZOP en el pasteurizador de sólidos (Elaboración propia)

Nodo	Desviación	Causa	Consecuencia	Medidas
Pasteurizador sólidos	Alta temperatura	Aumento de la tensión de alimentación	Descomposición del sustrato y pérdidas de producción	Control de temperatura con indicadores de temperatura
	Baja temperatura	Disminución de la tensión de alimentación	Sustrato no pasteurizado, efectos mediambientales debido a que los residuos no son aptos para el vertido y aumento del tiempo de hidrólisis del sustrato en el digestor	Control de temperatura con indicadores de temperatura
	Alta velocidad de la cinta transportadora	Aumento de las rpm del motor	Sustrato no pasteurizado, efectos mediambientales debido a que los residuos no son aptos para el vertido y aumento del tiempo de hidrólisis del sustrato en el digestor	Alarmas de aumento de velocidad y control de la velocidad mediante un variado de velocidad de frecuencia del voltaje del motor
	Baja velocidad de cinta transportadora	Disminución de las rpm del motor	Descomposición del sustrato y pérdidas de producción	Alarmas de aumento de velocidad y control de la velocidad mediante un variado de velocidad de frecuencia del voltaje del motor

Tabla 24: Método HAZOP en el pasteurizador de líquidos (Elaboración propia)

Nodo	Desviación	Causa	Consecuencia	Medidas
Pasteurizador líquidos	Disminución del caudal de entrada	Disminución de las rpm de las bombas	Aumento de la temperatura de salida del líquido	Alarma de temperatura máxima de salida de líquidos
	Aumento del caudal de entrada	Aumento de las rpm de las bombas	Disminución de la temperatura de salida del líquido	Alarma de temperatura mínima de salida de líquidos
	Aumento de la presión del equipo	Obstrucción de la tubería	Aumento de la potencia de bombeo y posible explosión de la tubería	Alarmas y controles de presión máxima
	Disminución de la presión del equipo	Raja en la tubería	Pérdidas de producción del sustrato por la avería del material	Alarmas y controles de presión mínima
	Aumento de la temperatura	Aumento del caudal del vapor	Descomposición del sustrato y pérdidas de producción	Alarmas y controles fijando una temperatura máxima de operación
	Disminución de la temperatura	Disminución del caudal de vapor	Sustrato no pasteurizado	Alarmas y controles fijando una temperatura mínima de operación

Tabla 25: Método HAZOP en la torre de desorción (Elaboración propia)

Nodo	Desviación	Causa	Consecuencia	Medidas
Torre de desorción	Alta presión	Obstrucción de las perforaciones de los platos	Aumento de la solubilidad del amoníaco en agua, aumento de contenido del amoníaco en el agua de salida y daños medioambientales	Sistema de control de presión de agua
	Baja presión	Averías estructurales en la torre	Pérdida de gases o líquidos, empobrecimiento de la transferencia y biogás de pureza inferior	Sistema de control de presión de agua
	Alta velocidad de aire	Mayor % de apertura de la válvula de entrada de aire	Espumación, disminución de la eficiencia e inundación	Disminución del % de apertura de la válvula de entrada de aire, parada para limpieza y arreglo de perforaciones e implementación al sistema de control del % de apertura mediante un caudalímetro y una válvula neumática
	Baja velocidad de aire	Menor % de apertura de la válvula de entrada de aire	Empobrecimiento de la transferencia, salida de agua con alto contenido de amoníaco y biogás de pureza inferior	Aumento del % de apertura de la válvula de entrada de aire e implementación al sistema de control del % de apertura mediante un caudalímetro y una válvula neumática

Tabla 25: Método HAZOP en la torre de absorción (Elaboración propia)

Nodo	Desviación	Causa	Consecuencia	Medidas
Torre de absorción	Alta presión	Válvula de salida del equipo cerrada	Explosión del equipo, empobrecimiento de la transferencia y biogás de pureza inferior	Alarmas de máxima presión y manómetros indicadores
	Baja presión	Averías estructurales en la torre	Pérdida de gases o líquidos, empobrecimiento de la transferencia y biogás de pureza inferior	Alarmas de mínima presión y manómetros indicadores
	Bajo caudal de agua	Válvula de entrada de agua cerrada, problemas en la bomba impulsora de agua y averías en la tubería	Biogás de pureza inferior	Control de caudal mediante una válvula mecánica, inspección de la bomba impulsora e inspección de roturas en la tubería
	Alto caudal de agua	Aumento de las rpm de la bomba impulsora y válvula de entrada de agua abierta en un % mayor al de la operación	Inundación, caída de la eficiencia y detención de la producción	Control de caudal mediante una válvula mecánica, inspección de la bomba impulsora e inspección de roturas en la tubería
	Baja velocidad de gas	Menor % de apertura de la válvula de entrada de gas a la operación	Empobrecimiento de la transferencia y biogás de pureza inferior	Aumento del % de apertura de la válvula de entrada de gas e implementación al sistema de control del % de apertura mediante un caudalímetro y una válvula neumática
	Alta velocidad de gas	Mayor caudal de gas	Espumación e inundación	Disminución del % de apertura de la válvula de entrada de gas e implementación al sistema de control del % de apertura mediante un caudalímetro y una válvula neumática

Tabla 26: Método HAZOP en el tanque de venteo (Elaboración propia)

Nodo	Desviación	Causa	Consecuencia	Medidas
Tanque de venteo	Alta presión	Bajo % de apertura en la válvula de expansión	Menor separación de CH <sub>4</sub>	Sistema de control de presión que actúe sobre la válvula de expansión
	Baja presión	Alto % de apertura en la válvula de expansión	Pérdida de aminas	Sistema de control de presión que actúe sobre la válvula de expansión

A lo largo del circuito productivo de biogás, se utilizan y se generan sustancias químicas que pueden resultar peligrosas para los operarios y /o para los equipos y tuberías por las cuales circulan. Por este motivo resulta importante identificar las sustancias y estudiar las fichas de seguridad de estas sustancias que pueden resultar peligrosas con el fin de determinar su correcta manipulación. Las Fichas de Seguridad constituyen un sistema básico y complementario del etiquetado, que recogen aspectos preventivos y/o de emergencia para tener en cuenta. A continuación, se exponen las tablas de las distintas sustancias que pueden ser peligrosas, junto con la información más importante extraída de sus respectivas hojas de seguridad (INSST, 2006).

Tabla 27: Hoja de seguridad del dióxido de carbono (Elaboración propia)

DIÓXIDO DE CARBONO			
	PELIGROS	PREVENCIÓN	LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO Y EXPLOSIÓN	No combustibe		En caso de incendio en el entorno: usar un medio de extinción adecuado. En caso de incendio: mantener fría la botella rociando con agua. Combatir el incendio desde un lugar protegido
	SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS
INHALACIÓN	Vértigo, dolor de cabeza, presión sanguínea elevada, ritmo cardiaco acelerado, asfixia y pérdida del conocimiento	Usar ventilación	Aire limpio, reposo. Puede ser necesaria respiración artificial. Proporcionar asistencia médica.
PIEL	EN CONTACTO CON GAS O HIELO SECO: CONGELACIÓN.	Guantes aislantes del frío	EN CASO DE CONGELACIÓN: aclarar con agua abundante, NO quitar la ropa. Proporcionar asistencia médica.
OJOS		Utilizar gafas de protección	
EXPOSICIÓN Y EFECTOS SOBRE LA SALUD			
<p><b>Vías de exposición:</b> la sustancia se puede absorber por inhalación.  <b>Efectos de exposición de corta duración:</b> la evaporación rápida del líquido puede producir congelación. La inhalación de concentraciones altas puede causar pérdida del conocimiento. Asfixia.</p>		<p><b>Riesgo de inhalación:</b> al producirse pérdidas en zonas confinadas, esta sustancia puede originar riesgo grave de asfixia.  <b>Efectos de exposición prolongada o repetida:</b> la sustancia puede afectar al metabolismo.</p>	

Tabla 28: Hoja de seguridad del metano (Elaboración propia)

METANO			
	PELIGROS	PREVENCIÓN	LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO Y EXPLOSIÓN	Extremadamente inflamable. Las mezclas gas/aire son explosivas.	Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar. Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión. Utilídense herramientas manuales no generadoras de chispas.	Cortar el suministro; si no es posible y no existe riesgo para el entorno próximo, dejar que el incendio se extinga por sí mismo; en otros casos apagar con agua pulverizada, polvo, dióxido de carbono. En caso de incendio: mantener fría la botella rociando con agua. Combatir el incendio desde un lugar protegido.
	SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS
INHALACIÓN	Asfixia	Usar ventilación. Usar protección respiratoria	Aire limpio, reposo. Puede ser necesaria respiración artificial. Proporcionar asistencia médica.
PIEL	EN CONTACTO CON LÍQUIDO: CONGELACIÓN.	Guantes aislantes del frío	EN CASO DE CONGELACIÓN: aclarar con agua abundante, NO quitar la ropa. Proporcionar asistencia médica.
OJOS	EN CONTACTO CON LÍQUIDO: CONGELACIÓN.	Utilizar gafas de protección	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
EXPOSICIÓN Y EFECTOS SOBRE LA SALUD			
<b>Vías de exposición:</b> la sustancia se puede absorber por inhalación. <b>Efectos de exposición de corta duración:</b> la evaporación rápida del líquido puede producir congelación.		<b>Riesgo de inhalación:</b> al producirse pérdidas en zonas confinadas, esta sustancia puede originar asfixia por disminución del contenido de oxígeno en el aire. <b>Efectos de exposición prolongada o repetida.</b>	

Tabla 29: Hoja de seguridad del ácido sulfhídrico (Elaboración propia)

ÁCIDO SULFHÍDRICO			
	PELIGROS	PREVENCIÓN	LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO Y EXPLOSIÓN	Extremadamente inflamable. Las mezclas gas/aire son explosivas.	Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar. Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión. Utilídense herramientas manuales no generadoras de chispas.	Cortar el suministro; si no es posible y no existe riesgo para el entorno próximo, dejar que el incendio se extinga por sí mismo; en otros casos apagar con agua pulverizada, polvo, dióxido de carbono. En caso de incendio: mantener fría la botella rociando con agua.
	SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS
INHALACIÓN	Tos. Dolor de cabeza. Vértigo. Náuseas. Dificultad respiratoria. Jadeo. Latido irregular. Convulsiones. Pérdida del conocimiento.	Usar ventilación. Usar protección respiratoria	Puede ser necesario administrar oxígeno. Aire limpio, reposo. Posición de semiincorporado. Puede ser necesaria respiración artificial. No aplicar respiración boca a boca. Proporcionar asistencia médica inmediatamente.
PIEL	EN CONTACTO CON LÍQUIDO: CONGELACIÓN.	Guantes aislantes del frío	EN CASO DE CONGELACIÓN: aclarar con agua abundante, NO quitar la ropa. Proporcionar asistencia médica.
OJOS	Enrojecimiento. Dolor.	Utilizar gafas de protección de montura integral o protección ocular en combinación con protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
EXPOSICIÓN Y EFECTOS SOBRE LA SALUD			
<b>Vías de exposición:</b> la sustancia se puede absorber por inhalación. <b>Efectos de exposición de corta duración:</b> la evaporación rápida del líquido puede producir congelación. La sustancia irrita los ojos y el tracto respiratorio. La inhalación de este gas puede causar edema pulmonar. Los efectos pueden aparecer de forma no inmediata. Se recomienda vigilancia médica. Ver Notas. La sustancia puede afectar al sistema nervioso central. La exposición podría causar pérdida del conocimiento. La exposición podría causar la muerte.		<b>Riesgo de inhalación:</b> al producirse pérdidas en zonas confinadas, esta sustancia puede originar asfixia por disminución del contenido de oxígeno en el aire. <b>Efectos de exposición prolongada o repetida.</b>	

Tabla 30: Hoja de seguridad del amoniaco (Elaboración propia)

AMONIACO			
	PELIGROS	PREVENCIÓN	LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO Y EXPLOSIÓN	Inflamable. La botella puede explotar por el calor del incendio. Las mezclas gas/aire son explosivas.	Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar. Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión.	En caso de incendio en el entorno: usar un medio de extinción adecuado. En caso de incendio: mantener fría la botella rociando con agua.
	SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS
INHALACIÓN	Sensación de quemazón. Tos. Dificultad respiratoria. Jadeo. Dolor de garganta.	Usar ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Posición de semiincorporado. Puede ser necesario administrar oxígeno. Proporcionar asistencia médica inmediatamente.
PIEL	Enrojecimiento. Dolor. Ampollas. Quemaduras cutáneas. EN CONTACTO CON LÍQUIDO: CONGELACIÓN.	Guantes aislantes del frío. Traje de protección.	Aclarar la piel con agua abundante o ducharse durante 15 minutos como mínimo. EN CASO DE CONGELACIÓN: aclarar con agua abundante, NO quitar la ropa. Proporcionar asistencia médica inmediatamente.
OJOS	Enrojecimiento. Dolor. Quemaduras graves. EN CONTACTO CON LÍQUIDO:	Utilizar pantalla facial o protección ocular en combinación con protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad). Proporcionar asistencia médica inmediatamente.
EXPOSICIÓN Y EFECTOS SOBRE LA SALUD			
<p><b>Vías de exposición:</b> la sustancia se puede absorber por inhalación.</p> <p><b>Efectos de exposición de corta duración:</b> la evaporación rápida del líquido puede producir congelación. La sustancia es corrosiva para los ojos, la piel y el tracto respiratorio. La exposición podría causar asfixia debido a inflamación de la garganta. La inhalación puede originar edema pulmonar, pero sólo tras producirse los efectos corrosivos iniciales en los ojos o las vías respiratorias</p>		<p><b>Riesgo de inhalación:</b> al producirse una pérdida de gas, se alcanzará muy rápidamente una concentración nociva del mismo en el aire.</p> <p><b>Efectos de exposición prolongada o repetida:</b> la inhalación crónica o repetida del vapor puede causar inflamación crónica del tracto respiratorio superior. Los pulmones pueden resultar afectados por la exposición prolongada o repetida. Esto puede dar lugar a enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC).</p>	

Para la realización del análisis de seguridad laboral de la planta se tuvo en cuenta la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de Riesgos Laborales. La presente Ley tiene por objeto promover la seguridad y la salud de los trabajadores mediante la aplicación de medidas y el desarrollo de las actividades necesarias para la prevención de riesgos derivados del trabajo.

A tales efectos, esta Ley establece los principios generales relativos a la prevención de los riesgos profesionales para la protección de la seguridad y de la salud, la eliminación o disminución de los riesgos derivados del trabajo, la información, la consulta, la participación equilibrada y la formación de los trabajadores en materia preventiva, en los términos señalados en la presente disposición.

Para el cumplimiento de dichos fines, la presente Ley regula las actuaciones a desarrollar por las Administraciones públicas, así como por los empresarios, los trabajadores y sus respectivas organizaciones representativas.

Las disposiciones de carácter laboral contenidas en esta Ley y en sus normas reglamentarias tendrán en todo caso el carácter de Derecho necesario mínimo indisponible, pudiendo ser mejoradas y desarrolladas en los convenios colectivos (BOE, 1995).

## 6.7 Financiación del proyecto

Para llevar a cabo la financiación del proyecto hay que seguir unos pasos básicos de implementación de proyectos de energía sostenible:

- Realizar un estudio energético previo
- Definir la propuesta de actuación
- Determinar el origen de la financiación
- Puesta en marcha del proyecto
- Seleccionar al mejor promotor
- Decidir sobre el tipo de contrato
- Operación y Mantenimiento
- Control de medidas y verificación de ahorros energéticos

Gran parte de la financiación del proyecto se proporcionará a través de las subvenciones para proyectos de energía sostenible. Las ayudas o subvenciones a fondo perdido de las administraciones públicas son mecanismos de apoyo económico a los proyectos energéticos que se han utilizado ampliamente en nuestro país. Ayudan a promover tecnologías en etapas iniciales de implantación social o para poner en marcha medidas aprobadas en el marco de estrategias, programas o planes de desarrollo en distintos ámbitos territoriales. La financiación de estas ayudas suele ser compartida entre los fondos propios de las comunidades autónomas, los fondos provinciales o locales y los fondos procedentes de otras administraciones o de la Unión Europea. La subvención del proyecto va a derivar de uno de estos fondos, ya nuestro proyecto de la planta cumple con las características de financiamiento por parte de ambos fondos: Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER, 2022) y Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural (FEADER, 2022).

El Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) tiene como objetivo la transición a una economía baja en carbono en todos los sectores. El Fondo financia las siguientes actuaciones:

- Ayudas directas a las inversiones realizadas en las empresas (en particular PyMEs) para crear empleos sostenibles.
- Infraestructuras vinculadas a la investigación y la innovación, a las telecomunicaciones, al medio ambiente, a la energía y al transporte.
- Instrumentos financieros (fondos de capital de riesgo, fondos de desarrollo local, etc.) para apoyar el desarrollo regional y local y favorecer la cooperación entre las ciudades y las regiones.
- Medidas de asistencia técnica a proyectos y actuaciones en línea con las anteriores.

El Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural (FEADER) es otro de los fondos comunitarios que aporta cofinanciación para poner en marcha proyectos de energía sostenible en el medio rural.

Además, El Real Decreto 477/2021, del 29 de junio, aprobó la concesión de 660 millones de euros, ampliables a 1.320 millones, en ayudas para instalaciones de autoconsumo (hasta 900 millones), almacenamiento detrás del contador (hasta 220 millones) y climatización con energías renovables (hasta 200 millones). Reforzando por parte del Gobierno los programas de

ayuda para el autoconsumo, el almacenamiento y las instalaciones térmicas con renovables (Mitecob, 2021).

Con el objetivo de que, en 2024, se prevé llegar a las 64 plantas de biometano en explotación, que generarán 2.077 gigavatios/hora (GWh) al año, frente a los 162 GWh por año actuales, se han implementado numerosas subvenciones para el desarrollo de proyectos de energía sostenible, con el objetivo de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> y reemplazarla las energías fósiles por energías renovables. Por lo tanto, el proyecto contará con numerosas ayudas públicas que permitirá el posible desarrollo financiero de este.

El resto de la financiación del proyecto se llevará a cabo a través de financiación bancaria, mediante préstamos. Dentro de estos se van a utilizar dos tipos de préstamos: específicos y convencionales. Hay que tener en cuenta el interés del banco, que corresponde con un 5,25% del préstamo.

Algunas entidades bancarias ofrecen préstamos específicos para proyectos orientados a la eficiencia energética. El tipo de préstamo más relevante en este contexto es el préstamo de eficiencia energética y/o los préstamos para energías renovables. En estos préstamos los intereses pueden ser más bajos que los préstamos convencionales y, en general, el periodo de devolución es aproximadamente igual al del periodo de retorno basado en los ahorros energéticos esperados. Por lo tanto, estos ahorros energéticos deben ser verificados a lo largo del contrato. Sin embargo, también se pueden utilizar préstamos convencionales para financiar la compra de un bien concreto (Ecoserveis, 2020).

Para que sea posible el desarrollo financiero de este proyecto, es necesario mediante las subvenciones y los préstamos de entidades bancarias hacer frente a la inversión total del proyecto de 3.449.735,208 € y los costes anuales de operación tanto fijos como variables que tienen el valor de 17.405.03 €. Siendo imposible la financiación total del proyecto mediante las subvenciones del Estado, estas tienen que corresponder con un mínimo del 70% de la financiación total, para que el proyecto sea viable económicamente.

## Capítulo 7. CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO

Si miramos al mundo en su conjunto, se puede concluir que se ha avanzado mucho en el tema de las energías renovables, donde el conocimiento sobre el cuidado del medio ambiente y los buenos hábitos se ha convertido en el eje central de la conciencia de la humanidad y la cultura de la sociedad moderna.

Ahora bien, si nos enfocamos en lo que corresponde con España, la forma de energía renovable es un 21,2% del consumo bruto de la energía, por lo que queda mucho camino aún por recorrer. El objetivo del presente proyecto fue diseñar una planta de producción de biogás autosostenible a partir de los residuos equinos que se generan en una finca particular en el municipio madrileño de Villaviciosa de Odón. Ayudando al país a pasar de una economía basada en los combustibles fósiles a otra basada en una diversidad de fuentes renovables.

Considerando su localización como la más acertada, se decidió investigar la viabilidad y rentabilidad de instalar una planta de biogás, teniendo en cuenta el análisis de la actividad generadora de dichos sustratos equinos pudiendo definir la escala de producción y la ubicación de la planta. Para el desarrollo de la planta, se llevó a cabo el estudio del funcionamiento de esta, y la selección de los equipos para la producción de biogás. Se tuvieron en cuenta los tratamientos del biogás según el destino final de este.

Luego del análisis de la planta de biogás, se llevaron a cabo los cálculos que demostraban la autosostenibilidad y la viabilidad del proyecto, ya que la finalidad de la planta era la creación de biogás para el autoabastecimiento de la finca particular. Explicando los diferentes beneficios que traería aparejado: ahorros de dinero, autoabastecimiento energético, disminución de emisiones de gases de efecto invernadero, generación de empleo y reducción de la contaminación. Siendo el beneficio doble, ya que soluciona el tratamiento de los residuos generados a nivel zonal, al tiempo que constituye una fuente energética de amplia disponibilidad para la compañía y tal vez, en algún futuro, un mejor aprovechamiento energético de comunidad autónoma de Toledo.

Por último, se produjo un análisis financiero para concluir con la factibilidad de llevar a cabo el proyecto. En el cual se tuvo en cuenta un análisis DAFO en el cual se analizaron las características internas y la situación externa del proyecto. Con el fin de definir las macro etapas del proyecto, se propuso un esquema de desarrollo del proyecto, que favorece en la toma de decisiones respecto de su desarrollo y la forma de ejecución. Dos aspectos de gran importancia en el análisis financiero fueron la inversión total y los costes de operación, ya estos valores se tuvieron en cuenta en la financiación del proyecto para investigar la viabilidad y rentabilidad de instalar la planta de biogás.

Con el fin de organizar el trabajo y llevar a cabo un proyecto eficiente, se desarrolló un cronograma de actividades con la duración de las distintas actividades del proyecto, con la fecha de inicio y final de cada tarea. Para garantizar una seguridad en la planta, se llevó a cabo una evaluación detallada de los tipos de riesgos que se podrían producir en la planta.

En definitiva, hay que destacar de este trabajo los conocimientos adquiridos en cuanto al desarrollo de las energías renovables y destacar también las ventajas medioambientales y económicas que ofrecen, además de animar a que este tipo de proyectos sean considerados e implantados en el país para lograr pasar de una economía basada en los combustibles fósiles a otra basada en una diversidad de fuentes renovables. Cumpliendo así con el objetivo de que, en 2024, se llegué a las 64 plantas de biometano en explotación.

Los objetivos específicos del proyecto anteriormente establecidos eran:

- Realizar el análisis bibliográfico de las principales publicaciones referentes a la temática.
- Establecer los fundamentos teóricos-prácticos adecuándolos al caso estudiado.
- Caracterizar la situación actual y las condiciones para la ejecución de la planta de biogás.
- Calcular las dimensiones fundamentales, que permitan la selección y diseño del biogás.
- Valorar los resultados y los impactos económicos, sociales y ambientales del biogás.

Se realizó un análisis de toda la información requerida sobre el tema del proyecto. Respaldo todos los resultados obtenidos con su bibliografía relevante y actualizada. Se establecieron los fundamentos teóricos relacionados con el tema a desarrollar. Centrándonos en todo lo relacionado, con la energía renovable y los impactos asociados, la transformación de los residuos equinos a través de digestión anaeróbica en biogás y su posterior transformación en energía. Para la ejecución de la planta se caracterizó la situación actual en España, teniendo en cuenta los objetivos propuestos para 2024 y las condiciones legales indispensables para su desarrollo.

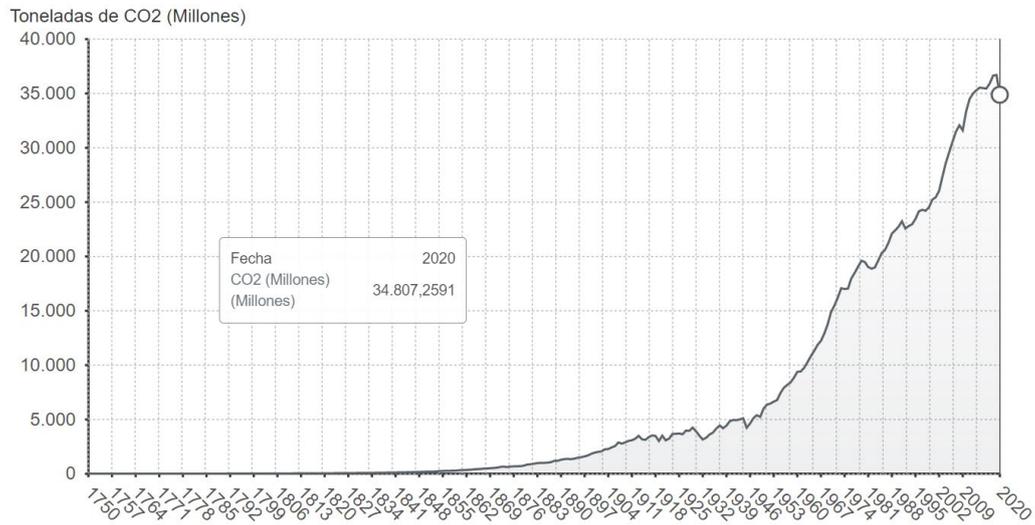
En los Capítulo 5 y Capítulo 6 se calcularon las dimensiones fundamentales, que permitan la selección y diseño del biogás. El resultado final alcanzado está justificado con todos los cálculos necesarios y con la fundamentación teórica adecuada. El tema innovador del trabajo es un referente en las tres dimensiones de desarrollo sostenible: económica, social y ambiental. Para ello se valoraron los resultados y los impactos económicos, sociales y ambientales del biogás que fueron calculados y explicados en el anterior capítulo, en el que se llevó a cabo el análisis del proyecto.

Por lo tanto, para hacer frente todos estos objetivos específicos, se desarrolló el objetivo general de diseñar una planta industrial productora de biogás a partir de residuos equinos, mediante la digestión anaeróbica de los mismos. La planta se ubicó en el municipio de Burguillos de Toledo en la provincia de Toledo, localizado en la comunidad autónoma de Castilla-La Mancha, después de ser realizado un estudio del análisis del entorno en el Capítulo 3.

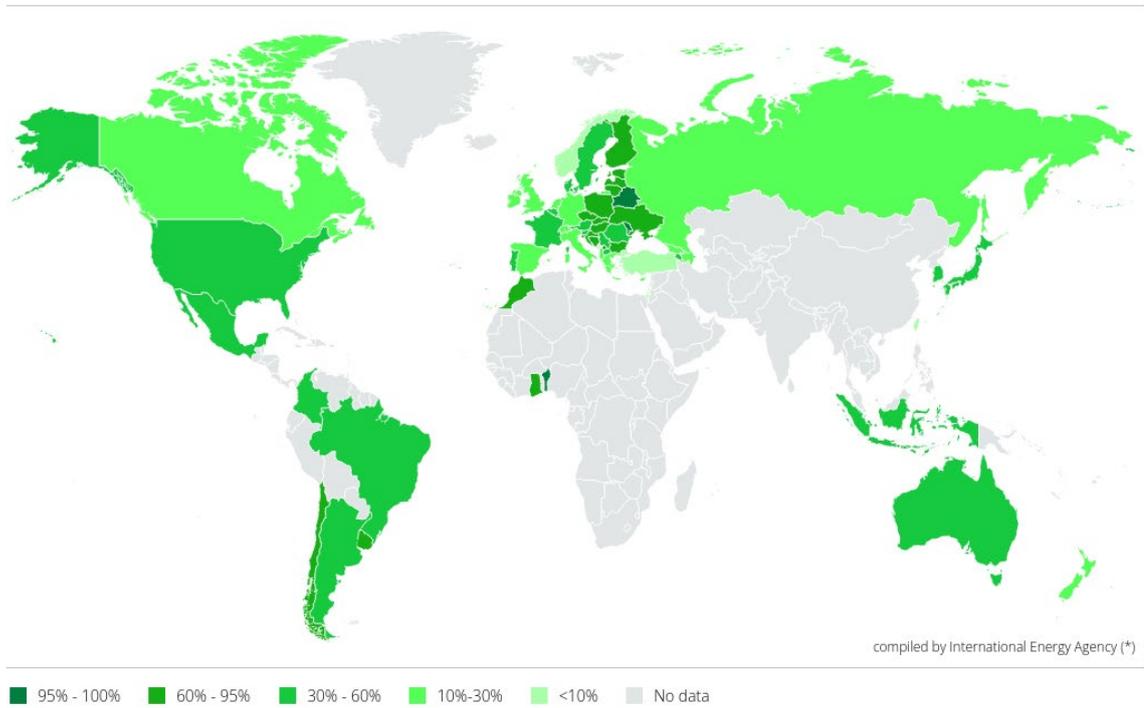
También se analizó de manera selectiva los procesos que intervienen en la producción de biogás, así como estudios de parámetros operativos y económicos, para la puesta en funcionamiento de la planta en el Capítulo 2. Y en el Capítulo 4 se desarrolló el funcionamiento de la planta, en el que consta de un listado de equipos involucrados, precios de los equipos y de las materias primas.

# ANEXOS

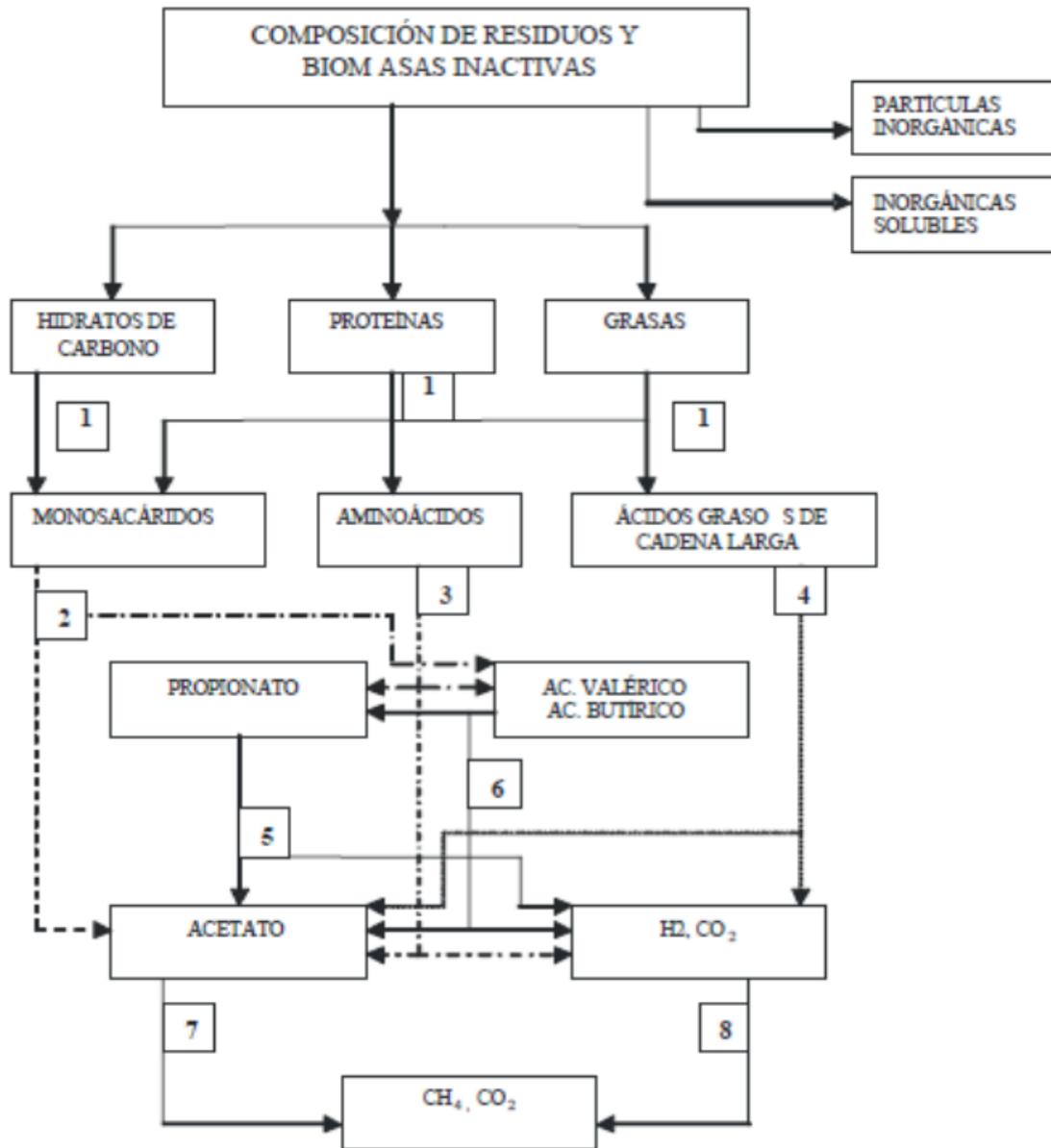
Anexo 1: Evolución en las emisiones globales de CO2 procedentes de combustibles fósiles (Global Carbon Project, 2020)



*Anexo 2: Porcentaje de los biocombustibles sólidos en la producción total de energías renovables (IEA Atlas of Energy, 2016)*



Anexo 3: Etapas de descomposición de la biomasa (Díaz, 2019)

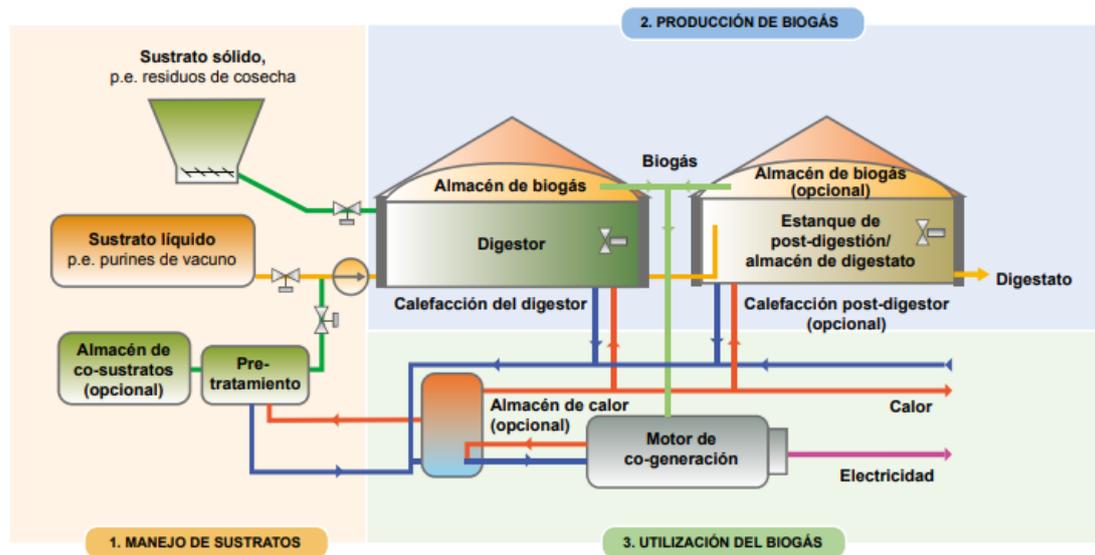


Anexo 4: Características generales de los sustratos comunes más utilizados en proyectos de biogás (Manual de biogás, 2011)

Sustrato	Sólidos Totales (ST)	Sólidos Volátiles (SV)	Rendimiento de biogás		Fracción de metano
	[%]	[% ST]	m <sup>3</sup> /t MF*	m <sup>3</sup> /t SV	[%]
Purines y estiércol					
Purines vacunos	8-11	75-82	20-30	200-500	60
Purines porcinos	~7	75-86	20-35	300-700	50-70
Estiércol vacuno	~ 25	68-76	40-50	210-300	60
Estiércol porcino	25	75-80	55-65	270-450	60
Guano de ave	~ 32	63-80	70-90	250-550	60
Cultivos agrícolas					
Silo Maíz (planta completa)	20-35	85-95	170-200	450-700	50-55
Silo Pradera	25-40	70-95	170-200	550-620	54
Silo cereales (planta completa)	30-35	92-98	170-220	550-680	~55
Remolacha azucarera	23	90-95	170-180	800-860	53-54
Remolacha hojas	12	75-85	50-100	620-850	52
Paja de trigo	80-90	90-95	280-380	250-400	51
Papa	19-21	92-96	120-150	600-750	52
Residuos de agroindustria					
Orujo cervecero	20-25	70-80	105-130	580-750	~80
Orujos de frutas	20-25	app. 98	100-130	300-650	52
Pulpa de papa	~ 25	app. 95	app. 300	500-700	50
Melaza	80-90	85-90	290-340	360-490	70-75
Glicerina	~ 100	app. 99	750-850	800-900	50
Orujo de uvas	40-50	80-90	250-270	640-690	65
Residuos animales (mataderos)					
Grasa de separadores	2-70	75-93	11-450	~300	60-72
Residuos de interiores (cerdo)	12-15	75-86	20-60	250-450	60-70
Licor ruminal (rumiantes)	11-19	80-90	20-60	200-400	55
Otros residuos					
Residuos de alimentos y alimentos vencidos	9-37	80-98	50-480	200-500	45-61
Pan añejo	60-70	95-98	450-530	700-800	53
Desechos de mercados	15-20	80-90	45-110	400-600	60-65
RSU (fracción orgánica)	~ 40	app. 50	220-260	550-650	60

\* Masa Fresca

Anexo 5: Esquema general de una planta de biogás para generación (Guía de Planificación para Proyectos de Biogás, 2012)



## PRESUPUESTO

En este capítulo se estudia el presupuesto final del proyecto, en el que se va a realizar una evaluación económica total del proyecto. Para ello, se van a tener en cuenta los cálculos obtenidos en los apartados anteriores, que van a ser reflejados en la Tabla 31:

Tabla 31: Presupuesto final (Elaboración propia)

PRESUPUESTO FINAL	UNIDAD (€)
Inversión total	3.449.735,21 €
Inversión fija total	3.136.123,00 €
Inversión activos fijos tangibles	3.105.923,00 €
Inversión activos fijos intangibles	30.200,00 €
Capital de trabajo	313.612,21 €
Costes de operación	17.450,03 €
Costes variables	7.567,56 €
Costes fijos	9.882,47 €
Financiación	3.521.793,41 €
Subvenciones	2.427.029,67 €
Préstamo bancario	1.094.763,74 €
<b>PRESUPUESTO FINAL TOTAL</b>	<b>4.561.948,98 €</b>

El presupuesto final se calcula teniendo en cuenta la inversión total, los costes de operación y la financiación del proyecto, cada subapartado se desarrolló en el Capítulo 6. La inversión total se calcula por la suma del capital de trabajo y la inversión fija total, que esta se subdivide en activos fijos tangibles e intangibles. Los costes de operación son el resultado de la suma de los costes variables y los costes fijos que vamos a tener en cuenta a la hora del desarrollo de la planta de biogás. Y, por último, el apartado de la financiación, que vamos a obtenerla mediante dos vías, subvenciones públicas y préstamos bancarios, estos últimos tienen un interés del 5,25%, que deberemos tener en cuenta a la hora de calcular el presupuesto final del proyecto. La financiación se obtiene como el resultado de la suma de los dos anteriores, la inversión total y los costes de operación.

Para hacer el cálculo final del presupuesto, se va a desglosar la financiación en las subvenciones públicas que corresponden con el 70% de la financiación, y el otro 30% sería el préstamo bancario, cuyo valor sin tener en cuenta el interés es de 1.040.155,57 €. Pero el préstamo bancario tiene un interés del 5,25% del total del préstamo, es decir, 54.608,17 € este valor hay que añadirse al préstamo bancario, por lo tanto, el resultado final de este sería la suma del préstamo más el interés del banco, dando un valor de 1.094.763,74 €

Por lo que, el presupuesto total corresponde con 4.561.948,98 €, valor resultante de la suma de la inversión total, de los costes de operación y del préstamo bancario con interés. Del presupuesto se obvia la parte de subvenciones públicas que corresponden con 2.427.029,67 €, provenientes del Fondo Europeo de Desarrollo Regional y Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aprovis. (2022). *APROVIS ENERGY SOLUTIONS Germany*. Obtenido de <https://www.aprovis.com/es/home-es/>
- Aqualimpia. (2021). *Aqualimpia Engineering e.K.* Obtenido de <https://www.aqualimpia.com/empresa-biodigestores/>
- Aranceta, J., Pérez Rodrigo, C., Serra Majem, L., Ribas Barba, L., Quiles Izquierdo, J., Vioque, J., . . . Foz Sala, M. (2003). Prevalencia de la obesidad en España: resultados del estudio SEEDO 2000. *Medicina Clínica (Barcelona)*, 120(16), 608-612.
- Bioeléctrica. (05 de 12 de 2019). *Proyectos sinergia biogás + bioetanol*. Obtenido de <http://www.bioelectrica.com/proyectos-sinergia-biogas-bioetanol/>
- Biogás Upgrading. (21 de 09 de 2020). *Tecnologías de upgrading para la generación de biometano*. Obtenido de <http://biogasupgrading.es/>
- Blackboard. (2018). *Universidad Europea*. Recuperado el 20 de Mayo de 2020, de <https://uem.blackboard.com/>
- BOE. (8 de 11 de 1995). *Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de Riesgos Laborales*. Obtenido de <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1995-24292>
- BOE. (2022). *BOE.es - Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado*. Obtenido de <https://www.boe.es/>
- Briceño, G. (02 de 12 de 2021). *lima mediterráneo | Qué es, características, tipos, paisaje, fauna, flora, cultivos*. Obtenido de <https://www.euston96.com/clima-mediterraneo/>
- CIEMAT. (2021). *Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas*. Obtenido de <https://www.ciemat.es/>
- Condorchem Envitech. (24 de 08 de 2021). *Tratamiento del biogás*. Obtenido de <https://condorchem.com/es/blog/tratamiento-del-biogas/>
- Crespo, C. (08 de 04 de 2022). *PortalFruticola*. Obtenido de Estiércol de caballo como abono: Composición y aplicación: <https://www.portalfruticola.com/noticias/2021/06/14/estiercol-de-caballo-como-abono-composicion-y-aplicacion/>
- Dekra. (2019). *Análisis de riesgos de procesos*. Obtenido de <https://www.dekra.es/es/analisis-de-riesgos-de-proceso-hazop/>
- Díaz, A. (2019). *Diseño de una planta de producción de biogás*. Obtenido de Ingeniería química: <http://rinfi.fi.mdp.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/123456789/345/ADiaz-TFG-IQ-2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ecoserveis. (2020). *Guía de financiación de proyectos de energía sostenible*. Obtenido de <https://www.ecoserveis.net/wp-content/uploads/2019/04/guia-para-la-financiacion-de-proyectos-de-energia-sostenible-2a-edicion.pdf>

- El Periódico de la Energía. (18 de 01 de 2022). *España tendrá 64 plantas de biometano en 2024 frente a las cinco actuales*. Obtenido de <https://elperiodicodelaenergia.com/espana-tendra-64-plantas-de-biometano-en-2024-frente-a-las-cinco-actuales/>
- FEADER. (2022). *Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural* . Obtenido de Política Regional - Comisión Europea: [https://ec.europa.eu/regional\\_policy/es/funding/](https://ec.europa.eu/regional_policy/es/funding/)
- FEDER. (01 de 03 de 2022). *El Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) | Fichas temáticas sobre la Unión Europea | Parlamento Europeo*. Obtenido de <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/es/sheet/95/el-fondo-europeo-de-desarrollo-regional-feder->
- Genia Bioenergy. (2019). *Mapa de plantas de biogás en España*. Obtenido de <https://geniabioenergy.com/plantas-biogas-en-espana/#:%7E:text=Situaci%C3%B3n%20del%20biog%C3%A1s%20en%20Espa%C3%B1a&text=De%20hecho%2C%20en%20un%20informe,el%20n%C3%BAmero%20de%20plantas%20espa%C3%B1olas.>
- Global Carbon Project. (2020). *El cambio climático, en datos y gráficos*. Obtenido de <https://www.epdata.es/datos/cambio-climatico-datos-graficos/447>
- Google Maps. (2022). Obtenido de <https://www.google.es/maps>
- Guía de Planificación para Proyectos de Biogás . (Junio de 2012). *Guía de Planificación para Proyectos de Biogás en Chile*. Obtenido de <https://www.aproval.cl/manejador/resources/guiaplanificacionproyectosbiogasweb.pdf>
- IDAE. (2007). *Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía*. Obtenido de <https://www.idae.es/>
- IEA Atlas of Energy. (2016). *Share of solid biofuels in total renewable production*. . Obtenido de <http://energyatlas.iea.org/#!/tellmap/-1076250891/2>
- INSST. (2006). *Fichas Internacionales de Seguridad Química. FISQ - Portal INSST - INSST*. Obtenido de Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo: <https://www.insst.es/documentacion/colecciones-tecnicas/fisq>
- ITV. (19 de 05 de 2022). *Precios de la ITV por CC.AA. y Vehículo* . Obtenido de <https://itv.com.es/precios-itv>
- Ivette, A. (07 de 06 de 2021). *Ventajas y desventajas de las energías renovables*. Obtenido de Economipedia: <https://economipedia.com/definiciones/ventajas-y-desventajas-de-las-energias-renovables.html>
- Llamas, J. (21 de 02 de 2021). *Economipedia*. Obtenido de Costos fijos y variables: <https://economipedia.com/definiciones/costos-fijos-y-variables.html>
- Maldonado, Y. (15 de 03 de 2021). *Los 10 Usos del Biogás más Importantes* . Obtenido de GEOLOGIAWEB: <https://geologiaweb.com/recursos-naturales/usos-del-biogas/>
- Manual de biogás. (2011). *Chile*. Obtenido de <https://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf>

- Mentado, P. (28 de 08 de 2019). *Biogás: generación de electricidad y otros usos* . Obtenido de <https://energiahoy.com/2019/08/28/biogas-generacion-de-electricidad-y-otros-usos-ii-parte/>
- Mitecob. (29 de 06 de 2021). *Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico*. Obtenido de [https://www.miteco.gob.es/es/prensa/ultimas-noticias/el-gobierno-refuerza-los-programas-de-ayuda-para-el-autoconsumo-el-almacenamiento-y-las-instalaciones-t%C3%A9rmicas-con-renovables/tcm:30-540440#:~:text=El%20Real%20Decreto%20477%2F2021,renovables%20\(](https://www.miteco.gob.es/es/prensa/ultimas-noticias/el-gobierno-refuerza-los-programas-de-ayuda-para-el-autoconsumo-el-almacenamiento-y-las-instalaciones-t%C3%A9rmicas-con-renovables/tcm:30-540440#:~:text=El%20Real%20Decreto%20477%2F2021,renovables%20()
- Montañez, A. (23 de 05 de 2021). *Verde y Azul*. Obtenido de La renovable más ignorada en España: el biogás: [https://verdeyazul.diarioinformacion.com/la-renovable-mas-ignorada-el-biogas.html#:~:text=Y%20aunque%20las%20renovables%20generan,Ahorro%20de%20Energ%C3%ADa%20\(IDAE\).](https://verdeyazul.diarioinformacion.com/la-renovable-mas-ignorada-el-biogas.html#:~:text=Y%20aunque%20las%20renovables%20generan,Ahorro%20de%20Energ%C3%ADa%20(IDAE).)
- Orús, A. (27 de 04 de 2022). *Statista*. Obtenido de <https://es.statista.com/temas/6675/las-energias-renovables-en-espana/#dossierKeyfigures>
- Pérez, A. (15 de 09 de 2021). *OBS Business School*. Obtenido de <https://www.obsbusiness.school/blog/que-son-los-activos-de-una-empresa-y-como-se-valoran>
- Red Agrícola. (01 de 03 de 2021). *Lo básico para entender el biogás*. Obtenido de <https://www.redagricola.com/cl/lo-basico-entender-biogas/>
- Ree. (2018). *Red Eléctrica Española*. Obtenido de <https://www.ree.es/es>
- SACOME. (2022). *Ingeniería, Diseño y Fabricación desde 1978*. Obtenido de <https://www.sacome.com/>
- SEAE. (2022). *Sociedad Española Agricultura Ecológica*. Obtenido de <https://www.agroecologia.net/>
- Selectra. (25 de 05 de 2022). Obtenido de <https://selectra.es/seguros/seguros-coche/seguro-camiones>
- Smallops. (10 de 05 de 2022). *SMALLOPS*. Obtenido de SITUACIÓN DEL BIOGÁS EN ESPAÑA Y EUROPA: <https://smallops.eu/situacion-del-biogas-en-espana-y-europa/>
- Tarifaluzhora.es. (15 de 06 de 2022). Obtenido de ¿Cuánto cuesta el kilovatio hora de luz (kWh) en España?: <https://tarifaluzhora.es/info/precio-kwh>