



Facultad de Administración y Dirección de Empresas

**Trabajo de
Fin de Grado**

**Generación de
energía en España y
estudio de viabilidad
de una planta de
biogás**

Alejandro Hermida Pérez

Julio 2024

ÍNDICE

Resumen	3
Índice de figuras	4
Índice de tablas	5
Índice de abreviaturas	6
Planificación	7
1. Introducción	9
2. Objetivos	10
3. Análisis de la situación de las energías renovables y no renovables en España	10
3.1 .Contexto actual de las energías renovables España	11
3.2. Contexto actual y futuro de las energías renovables Galicia	14
3.3. Fuentes de energía en España	16
3.4. Futuro de las energías renovables en España	21
4. Mercado eléctrico español	24
4.1. Funcionamiento del mercado eléctrico español	24
4.2. El precio y su evolución	26
5. El biogás.....	28
5.1. ¿Qué es el biogás?	28
5.2. Contexto actual del biogás en España y Europa	29
6. Estudio de prefactibilidad de una planta de biogás en Galicia.....	31
6.1. Idea y motivaciones.....	31
6.2. Ubicación geográfica	31
6.3. Funcionamiento de planta de biogás	33
6.4. Estudio viabilidad económica	37
6.4.1. Inversión	39
6.4.2. Análisis de costes	39
6.4.3. Análisis de ingresos.....	41
6.4.4. Análisis de rentabilidad.....	42
6.5. Análisis de sensibilidad	44
6.5.1. Análisis de variables	44
6.5.2. Análisis de escenarios	46
7. Conclusiones y limitaciones	49
8. Bibliografía.....	53
ANEXOS	55

Resumen

Este Trabajo de Fin de Grado (TFG) se enfoca en la realización de un análisis del sector energético español, tratando de prestar especial atención en la transición hacia energías renovables en España y Galicia. El trabajo incluye un estudio de viabilidad económica de una planta de biogás, en la que se describe el proceso de su producción, destacando su papel en la economía circular y como una alternativa sostenible para la generación de energía. Este estudio no sólo se centra en conocer cuáles son las variables que interviene en la viabilidad económica del proyecto, sino que también analiza la sensibilidad de las variables más críticas a la rentabilidad.

La extensión del trabajo es de 11.823 palabras con las que se pretende aportar una visión integral del estado actual y futuro del sector energético en España y Galicia, así como evaluar la viabilidad y el impacto de la energía renovable del biogás en el contexto de la transición energética.

Índice de figuras

Figura 1: Planificación diagrama de Gantt.....	7
Figura 2: Generación energía sistema eléctrico español en 2023.....	12
Figura 3: Evolución de la generación de energía renovable y no renovable en España.....	13
Figura 4: Estructura de la generación eléctrica en Galicia	14
Figura 5: Balance eléctrico gallego en 2023	15
Figura 6: Producción de carbón en España de 2014 a 2023	16
Figura 7: Importación de GNL a España 2022	18
Figura 8: Generación de energía nuclear en España de 2014 a 2023	19
Figura 9: Energía eólica generada en España de 2014 a 2023	19
Figura 10: Generación de energía hidráulica entre 2014 a 2023	20
Figura 11: Energía solar fotovoltaica generada en España entre 2014-2023.....	21
Figura 12: Emisiones de CO2 por sector.....	22
Figura 13: % objetivo de generación de energía renovable para 2030	23
Figura 14: Secuencia de mercados en el MIBEL	25
Figura 15: Evolución del precio de la luz	27
Figura 16: Número de cabezas de vacuno en Galicia en 2020	32
Figura 17: Ubicación planta de biogás.....	33
Figura 18: Funcionamiento planta de biogás	35
Figura 19: Mapa de dispersión de los escenarios	48
Figura 20: Árbol de escenarios	55
Figura 21: Datos modelo económico-financiero	56
Figura 22: Producción planta de biogás	57
Figura 23: Costes planta de biogás	58
Figura 24: Ingresos planta de biogás	59
Figura 25: Outputs planta de biogás	60

Índice de tablas

Tabla 1: Evolución de la generación de las energías renovables en Galicia	15
Tabla 2: Balance de producción y consumo de productos petrolíferos	17
Tabla 3: Previsiones de generación en MW por fuente de energía para 2030	23
Tabla 4: Plantas de biogás registradas por el Ministerio de Agricultura	32
Tabla 5: Tabla resumen producción de la planta	38
Tabla 6: Inversión necesaria para la planta	39
Tabla 7: Costes anuales de la planta.....	40
Tabla 8: Costes asociados tras la producción	40
Tabla 9: Costes de la generación del biometano.....	40
Tabla 10: Ingresos anuales de la planta.....	42
Tabla 11: Flujos de caja, VAN corregido y TIRM del escenario base	43
Tabla 12: Análisis de sensibilidad de las variables.....	45
Tabla 13: Valores escenario optimista	49
Tabla 14: Valores escenario pesimista.....	49

Índice de abreviaturas

PNIEC - Plan Nacional Integrado de Energía y Clima

MITECO - Ministerio para Transición Ecológica y el Reto Demográfico

REE - Red Eléctrica Española

IDEA - Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía

UE - Unión Europea

OMIE - Operador del Mercado Ibérico de Energía

AEE - Asociación de Empresarios Eólica

ONU - Organización de las Naciones Unidas

MIBEL - Mercado Ibérico de la Electricidad

TFG- Trabajo de Fin de Grado

Kt- Kilotonelada

GNL- Gas Natural Licuado

MW. - Megavatios.

MWh - Megavatio por hora.

GW - Gigavatios

GWh - Gigavatios por hora.

Ktep - Kilotonelada equivalente de petróleo.

m³- Metros cúbicos

VAN - Valor Actual Neto

TIR - Tasa Interna de Rentabilidad

TIRM - Tasa Interna de Rentabilidad Modificada

IPC – Índice de Precios al Consumo

UGM - Unidad de Ganado Mayor

Planificación

La planificación de un Trabajo de Fin de Grado (TFG) es fundamental para asegurar un buen seguimiento y calidad de este. Por ello en este apartado vamos a comentar las principales fases en las que se ha desarrollado este trabajo. La planificación del trabajo a realizar ha proporcionado una hoja de ruta clara desde el inicio hasta la finalización del proyecto.

La planificación se ha dividido en 5 fases, que se pueden ver reflejadas en el siguiente diagrama de Gantt y que, a continuación, las explicaremos brevemente.

Figura 1: Planificación diagrama de Gantt



Fuente: Elaboración propia

i. Selección del tema

En esta primera fase se realizó una investigación preliminar sobre temas de interés para la realización del trabajo. Tras consultarlo con el tutor y recibir orientación y sugerencias por su parte, se decidió finalmente por realizar el presente trabajo.

La duración de esta fase fue de 3 semanas.

ii. Búsqueda de bibliografía

Una vez seleccionado el tema a desarrollar, comenzó la búsqueda de bibliografía necesaria para la realización del trabajo. La búsqueda se realizó a través de internet y debido al tema seleccionado fue principalmente a través de documentos oficiales de las organizaciones públicas, como el Ministerio para Transición Ecológica y el Reto Demográfico, el Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía o la Red Eléctrica Española entre otras instituciones.

Además, la búsqueda de bibliografía también se completó a través de artículos científicos, trabajos y otros recursos de bases de datos académicas.

La duración de esta fase fue de 4 semanas.

iii. Desarrollo del trabajo

En esta fase se redactó el contenido principal del TFG siguiendo la estructura y normativa establecida y marcada por la Universidad de Santiago de Compostela, a través de la información facilitada para la realización del TFG.

Cabe destacar que en esta fase se mantuvieron tutorías de seguimiento de manera continuada, cada ½ semanas, en función de las necesidades, dónde el tutor orientaba, revisaba y corregía durante este proceso de redacción.

Esta fase fue la más extensa, siendo la duración de 18 semanas.

iv. Revisión y resolución de dudas

En esta etapa de revisión y resolución de dudas se realizaron varias tutorías tratando de mejorar la calidad y coherencia del trabajo. Se realizó una lectura crítica del trabajo, revisando la citación de las fuentes. Finalmente se consultó con el tutor para recibir feedback y posibles mejoras necesarias para la entrega de una versión final.

La duración de esta fase fue de 4 semanas.

v. Versión final y entrega

Finalmente, llegamos a la última fase del proyecto, en la que se preparó una versión final del documento para su posterior entrega.

La duración de esta fase fue de 1 semana.

1. Introducción

El sector energético siempre ha sido una de las bases de la economía de cualquier país del mundo. En los últimos años este sector ha cobrado mucha importancia debido a los recientes cambios que organizaciones como la Unión Europea han implementado para lograr una transición energética hacia una generación de energía renovable y sostenible.

El presente trabajo se divide en dos partes diferentes. La primera parte se centrará en la realización de un análisis del sector energético español y gallego. Estudiaremos la tendencia de las fuentes de generación de energía en la última década en España, exponiendo en cada caso los planes que el gobierno quiere realizar en el corto y medio plazo. Estas premisas se ven reflejadas en el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC). También realizaremos una explicación del funcionamiento del mercado eléctrico español, así como la evolución de los precios del mercado.

Para esta primera parte, la obtención de la información se ha realizado a través de diferentes medios oficiales, como documentos del MITECO, la Red Eléctrica de España (REE) o artículos relacionados. Por este motivo esta primera parte se ha desarrollado principalmente a través del análisis de gráficas, tablas e imágenes sobre los diferentes temas a tratar.

La segunda parte del trabajo se va a centrar en la energía renovable del biogás. El biogás se obtiene a través de su producción en las plantas de biogás, donde se tratan residuos provenientes de la agricultura, agroindustria, ganadería y otras industrias. Esta energía está ganando importancia en los últimos años debido a la búsqueda de alternativas de generación de energía renovable y a su gran papel como impulsor de la economía circular, ya que esta energía se obtiene a partir de residuos que actualmente suponen un problema tanto a nivel de contaminación como a nivel de su gestión. Por lo que decidimos realizar un estudio de viabilidad económica de una planta de biogás, analizando más al detalle qué variables son más críticas para su rentabilidad.

Debemos tener en cuenta que este estudio es un estudio de prefactibilidad, siendo un estudio exploratorio en el que están involucradas un número elevado de incógnitas y variables, lo que supone que el resultado final del estudio de prefactibilidad puede ser diferente a un futuro estudio final de viabilidad del proyecto. En el estudio explicaremos el funcionamiento de una planta de biogás y analizaremos todas las variables que están involucradas, desde la recogida de los residuos hasta la obtención de los productos finales, para finalmente, analizar qué variables resultan más críticas para la rentabilidad de la planta.

2. Objetivos

El trabajo pretende, por un lado, realizar una pequeña investigación sobre el sector energético español y su mercado y, por otro lado, llevar a cabo un análisis práctico de un caso de estudio de prefactibilidad de una planta de biogás en la provincia de Lugo. Para ello hemos establecido los siguientes objetivos:

- Investigar el sector energético en España, analizando la evolución en el uso de las fuentes de energía tanto renovables como no renovables para la generación de energía. Además, pretende comprobar si se están cumpliendo los objetivos de la transición energética marcados en el PNIEC por el MITECO.
- Intentaremos dar una visión global del complejo funcionamiento del mercado eléctrico español y la evolución de los precios del mismo.
- Conocer el biogás como una de las nuevas fuentes de energía renovable con más potencial dentro del sector energético, destacando su relevancia para el desarrollo de la economía circular. Para ello conoceremos como es el proceso de producción en una planta de biogás.
- Plantear un estudio prefactibilidad de una planta de biogás, para lo que crearemos un modelo económico-financiero sobre el que realizar el estudio. A partir de este modelo, pretendemos analizar la viabilidad económica del proyecto, identificando las variables más sensibles y críticas para la rentabilidad.

A partir de estos objetivos planteados, desarrollaremos el trabajo tratando de dar respuesta a cada uno de ellos.

3. Análisis de la situación de las energías renovables y no renovables en España

En este apartado realizaremos un análisis de la situación actual de las energías renovables y no renovables en España. Nos centraremos en las fuentes de energía más utilizadas y con mayor participación en el sector energético español. También analizaremos el futuro y los objetivos que el gobierno de España se ha marcado en el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC), que más adelante explicaremos en que consiste.

3.1. Contexto actual de las energías renovables España

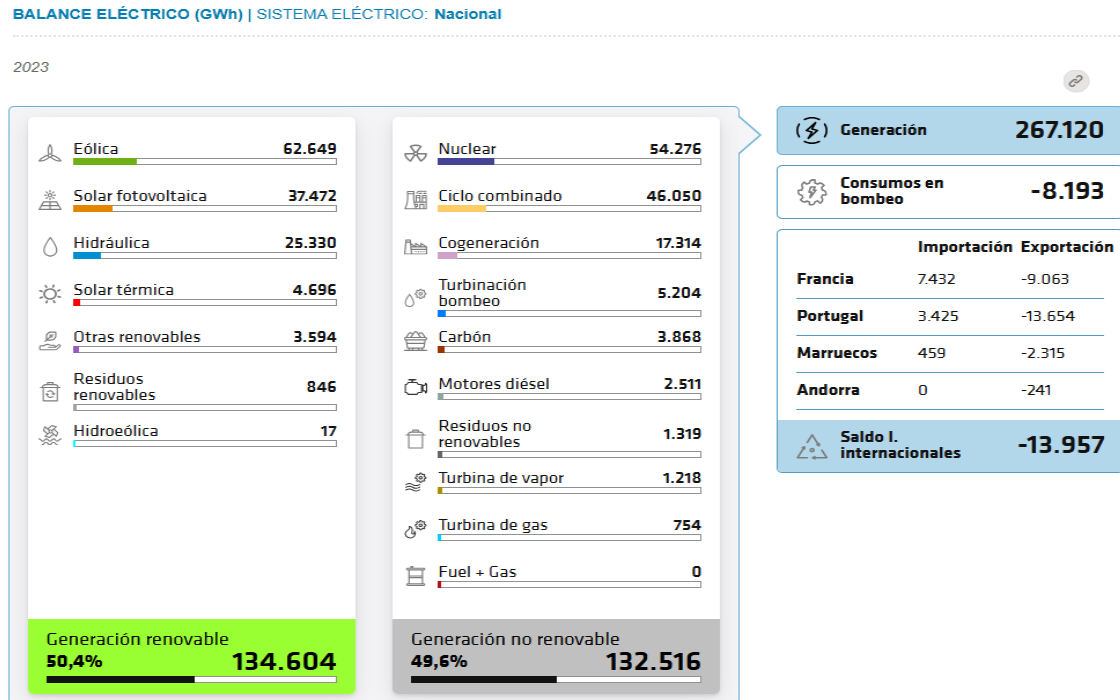
En primer lugar, empezaremos conociendo en qué situación nos encontramos actualmente en España con relación al sector energético. El sector energético es uno de los sectores fundamentales en la economía de cualquier país del mundo. Muchos países sufren dependencia energética de otros países productores o de empresas, para ser capaces de satisfacer la demanda de energía nacional.

Las energías basadas en fuentes renovables han ido incrementando su crecimiento e importancia en el sector energético, por lo que es evidente que su papel como fuentes de energía es cada vez más significativo frente a fuentes no renovables. Esta tendencia de crecimiento positivo de las energías renovables no sólo está influenciada por la dependencia de los combustibles fósiles, si no que va ligado a los objetivos relativos a la producción de energía marcados en la Agenda 2030 y en el PNIEC, entre los que destaca como aumentar la proporción de energía renovable en el conjunto de fuentes energéticas de aquí a 2030 (Naciones Unidas, 2015).

A nivel nacional no solo es importante incrementar la independencia energética, sino que es una oportunidad única para conseguir autoabastecimiento energético sostenible que incluso pueda ser escalable hasta su comercialización, dando la oportunidad de exportar a otros países. Este potencial es una realidad, ya que España está considerado uno de los países con mayor capacidad de obtención de energías renovables, siendo un punto a favor muy importante a la hora de impulsar proyectos y obtener financiación de inversores externos.

A día 31/12/2023 la generación energética desglosada por fuente de energía en España es la siguiente:

Figura 2: Generación energía sistema eléctrico español en 2023

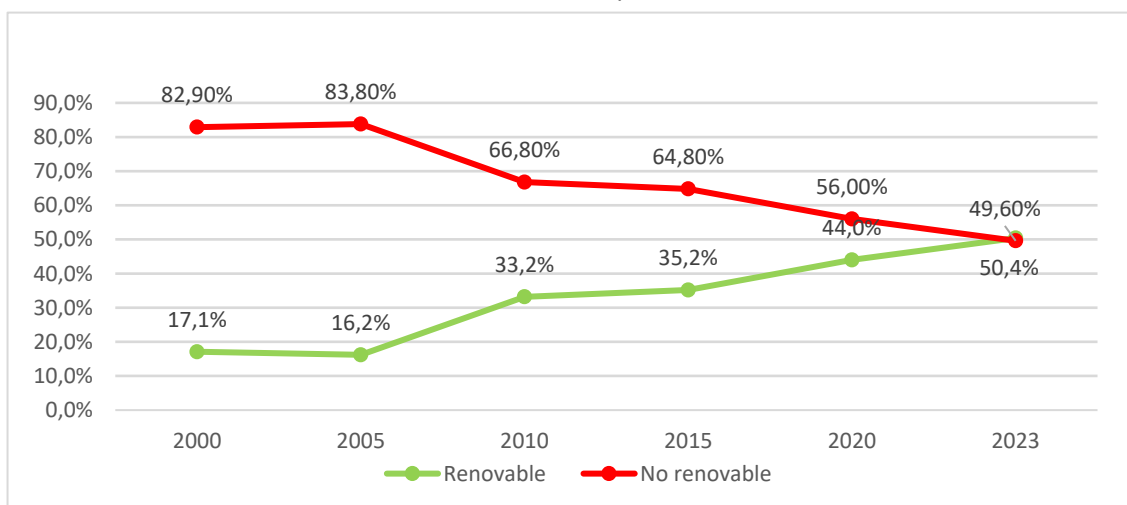


Fuente: Red Eléctrica Española (*Red Electrica Española, 2024*)

Como podemos ver en la imagen un 50,4% de la generación de energía en España es de origen renovable, lo que nos muestra que actualmente la generación de energía renovable es superior a la no renovable y pese a no ser una gran diferencia, es un resultado positivo acorde con la tendencia actual mundial.

La Agenda 2030 fue aprobada el 25 de septiembre de 2015, acordando la nueva estrategia que regirá durante los próximos 15 años. Las metas propuestas por la Organización de Naciones Unidas (ONU) afectan a múltiples aspectos de la vida humana y de nuestro entorno. En el trabajo nos vamos a centrar principalmente en los objetivos relativos a la producción de energía. Observamos a continuación la tendencia en cuanto a la producción de energía renovable desde 2000 hasta el año actual 2023 (MITECO, 2015).

Figura 3: Evolución de la generación de energía renovable y no renovable en España



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Red Eléctrica Española (*Red Eléctrica Española, 2024*)

Como podemos observar, en el año 2000 España tan solo generaba, en base a fuentes renovables, un 17,1% de la energía total, incluso este porcentaje se ve disminuido en 2005. Es en el intervalo comprendido entre 2005 y 2010 donde el porcentaje aumenta significativamente elevándose hasta 33,2%. Este aumento significativo de generación energética renovable viene acompañado de un aumento importante de potencia instalada de energía eólica y energía solar.

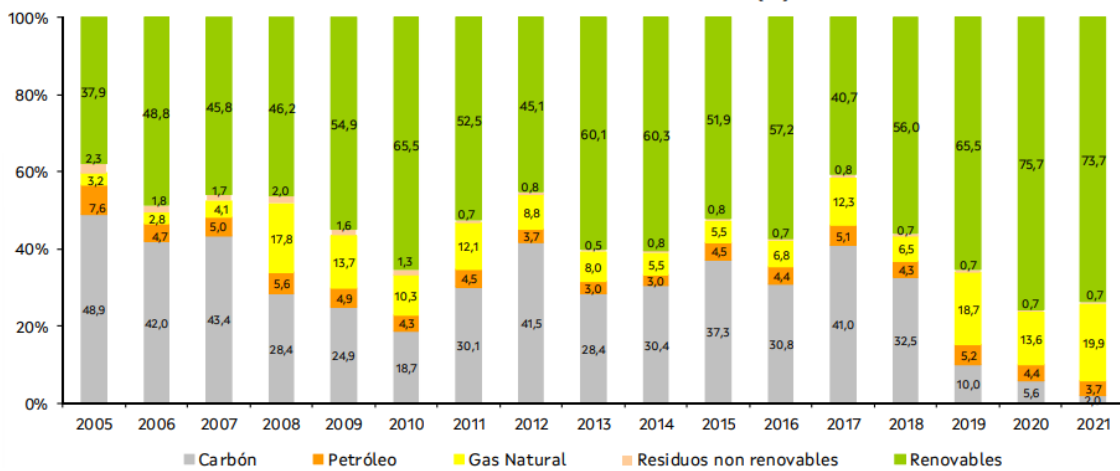
Desde 2010 hasta 2015 se vuelve a estancar tanto la generación como la potencia instalada, hasta que a partir del 2015, año de aprobación de la Agenda 2030, nos encontramos con un gran punto de inflexión que implica un incremento tanto en inversión como en generación, suponiendo un aumento del 8,8% entre 2015 y 2020. Esta tendencia es una de las razones por las que se ha alcanzado en 2023 un 50,4% de generación de energía renovable en España.

Para finalizar este contexto del sector energético español, indicar que este proceso de una mayor generación de energías renovables no surge únicamente para dar respuesta al cambio climático, sino que es un paso imprescindible que debe dar el país para conseguir la independencia energética. Se trata de un objetivo compartido también por la Unión Europea, lo que en un futuro permitirá evitar crisis energéticas como la sucedida por la guerra de Ucrania, disminuyendo así la dependencia de terceros países que pueden instrumentalizar la energía o materias primas para financiarse, como es el caso de Rusia (Merino, 2022).

3.2. Contexto actual y futuro de las energías renovables Galicia

El sector energético gallego tiene como pilar de generación a las energías renovables, que siempre han tenido un gran peso en el sector. Actualmente y siguiendo los objetivos del PNIEC, está claro que las energías renovables continuarán adquiriendo mayor peso en la estructura gallega. Galicia es uno de los territorios con mayor potencial de desarrollo y producción de las energías renovables, siendo de las comunidades autónomas que más utiliza las fuentes de energía renovables junto con Castilla y León y Castilla-La Mancha (Red Eléctrica Española, 2024).

Figura 4: Estructura de la generación eléctrica en Galicia



Fuente: Instituto Gallego de Energía (*Instituto Gallego de Energía, 2023*)

La dependencia energética gallega en el año 2020 fue del 61,05% (de LLano Paz, Iglesias Gómez, & Martínez Fernández, 2022). No obstante, en 2022 según el Instituto Gallego de Energía, la dependencia energética de Galicia se sitúa en un 66,4%, lo que supone un serio problema (Instituto Energético de Galicia, 2024). Además, si tenemos en cuenta que el PNIEC estableció como objetivo en Galicia que la dependencia energética estuviese en torno al 61%, está claro que es un dato negativo que parece que está empeorando con el paso del tiempo.

Figura 5: Balance eléctrico gallego en 2023



Fuente: Red Eléctrica Española (Red Eléctrica Española, 2024)

Como vemos en el 2023, la energía renovable con más peso en Galicia es la eólica, seguida de la hidráulica, mientras que la energía no renovable con más peso es la de ciclo combinado. La energía eléctrica producida en Galicia para España supone un 8,1% y su potencia instalada representa un 9,2% del total nacional (Red Eléctrica Española, 2024).

En la siguiente tabla observamos la evolución de las energías renovables:

Tabla 1: Evolución de la generación de las energías renovables en Galicia

Mix de energía primaria autóctona (ktep)	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Agua (Grande hidráulica)	841	502	365	778	801	505	781	258	689	557	636
Agua (Minihidráulica)	95	63	54	97	90	61	83	36	88	81	79
Viento	729	642	705	833	745	753	643	606	756	773	882
Biomasa	720	743	749	744	771	788	788	796	799	760	767
Biogás	6	7	5	5	5	5	7	7	8	8	8
Biocarburantes	239	258	370	225	217	180	210	232	305	311	276
RSU (Parte biodegradable)	40	51	49	53	49	50	47	49	46	22	22
RSU (Parte no biodegradable)	40	38	46	45	49	50	47	49	46	22	22
Otras fuentes	11	11	11	11	11	11	12	14	14	13	11
Sol	5	7	10	12	12	13	13	14	15	16	18
Geotermia, aerotermia, hidrotermia	3	4	4	5	6	6	7	8	9	10	11
Energía primaria autóctona	2.615	2.181	2.075	2.666	2.617	2.326	2.51	1.928	2.552	2.354	2.546
Energía primaria total	12.602	11.624	12.773	12.105	11.533	12.972	12.991	12.930	13.601	11.812	10.223

Fuente: Informe CES y UDC (de LLano Paz, Iglesias Gómez, & Martínez Fernández, 2022)

Como se observa en la tabla las energías renovables con mayor peso desde 2010 en Galicia han sido la hidráulica, eólica y la biomasa, siendo la energía eólica la que tiene una tendencia al alza. También destacamos el crecimiento paulatino de la energía renovable del biogás de la que hablaremos posteriormente.

El futuro de la energía en Galicia viene marcado por la hoja de ruta de la Agenda Energética de Galicia 2030, que busca la descarbonización para el año 2050. Uno de los desafíos principales es trabajar hacia un modelo sostenible con un nuevo “mix” energético, impulsando

tecnologías como el hidrógeno verde, los gases renovables, los biocombustibles, la eólica marina y el almacenamiento energético.

En el marco de los objetivos de la Agenda Energética de Galicia 2030 en los que se incluyen la mejora de la eficiencia energética, las actuaciones que se realicen para la consecución de los mismo comprenderán espacios temporales más cortos. Estos periodos son 2022-2024, 2025-2027 y 2028-2030, con la intención de medir de manera gradual la consecución de los objetivos establecidos.

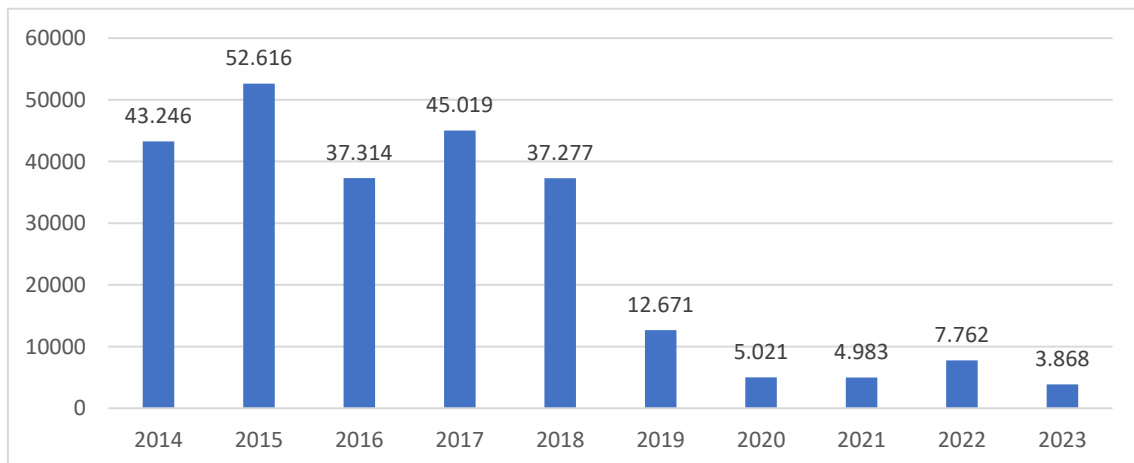
3.3. Fuentes de energía en España

A continuación, vamos a realizar un recorrido de las fuentes de energía más utilizadas para la generación de energía en el sector energético español, así como de la situación en la que se encuentran actualmente.

- **Carbón**

El sector del carbón en España ha sido una de las fuentes más importante para el país, pero debido a la dirección que se está tomando a nivel mundial hacia una producción de energía más limpia y sostenible provoca que la demanda de carbón haya sufrido una pérdida muy significativa. Debemos tener en cuenta que este sector es uno de los más contaminantes (MITECO, 2023).

Figura 6: Producción de carbón en España de 2014 a 2023



Fuente: Elaboración propia a partir de la Red Eléctrica Española (*Red Eléctrica Española, 2024*)

No obstante, observando esta tendencia decreciente, cabe destacar que el incremento de producción de carbón en 2022 fue debido al contexto mundial y la necesidad de atender la demanda de otros países, principalmente exportaciones a Francia. Pero esta fuente de energía

tiene sus días contados debido al objetivo de la descarbonización del país marcados por la Unión Europea.

- **Productos petrolíferos**

El petróleo es una de las fuentes de energía más utilizadas en España actualmente, aplicándose entre otros para la producción de diferentes tipos de plásticos, combustibles, productos químicos y productos farmacéuticos.

Tabla 2: Balance de producción y consumo de productos

	2021 (kt)	2022 (kt)
Producción interior de crudo	6	1
Importación de crudo	56.172	63.596
Productos intermedios y materias auxiliares	2.050	543
Variación de existencias de materias primas	820	-347
Materia prima procesada	59.048	63.793
Pérdidas de refino	-871	-1.664
Producción de refinerías	58,177	62.129
Consumos propios	-3.952	-4.233
Traspasos/diferencias estadísticas	2.492	1.001
Importaciones de productos petrolíferos	17.267	18.670
Exportaciones de productos petrolíferos	-22.186	-20.272
Variación de existencias	1.615	273
Consumo interior de productos petrolíferos	53.413	57.568

Fuente: Balance Energético Español (MITECO, 2023)

España no es un país productor de crudo por lo que depende de la importación del mismo de diferentes países productores. La importación de crudo en 2021 fue de 56.172kt incrementándose hasta los 63.696kt en 2022.

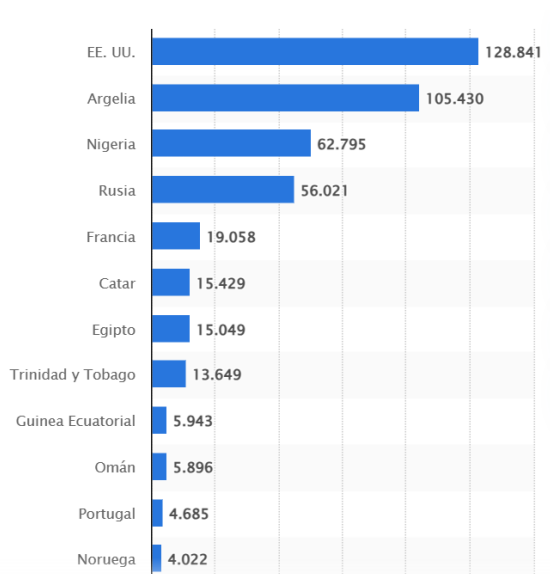
Sin embargo, en España se genera una gran cantidad de productos petrolíferos, llegando a producir en 2022 62.129kt, de los cuáles la mayor parte se destinaron a su exportación (MITECO, 2023).

- **Gas natural**

El gas natural en España se importa en un 99%. Antes del estallido de la guerra de Ucrania, el principal proveedor era Argelia con un 42% del total, seguido por EEUU, Nigeria y Rusia.

Tras el inicio de la guerra, EEUU se ha proclamado como el mayor suministrador de gas a España. En junio de 2022 el 46,9% del gas se importa a través de gaseoducto y el 53,1% restante se importa como Gas Natural Licuado (GNL), la mayor parte de EEUU. La tendencia va al alza por lo que actualmente estos porcentajes habrán variado a favor del GNL (EPE, 2022).

Figura 7: Importación de GNL a España 2022



Fuente: Statista (Statista, 2023)

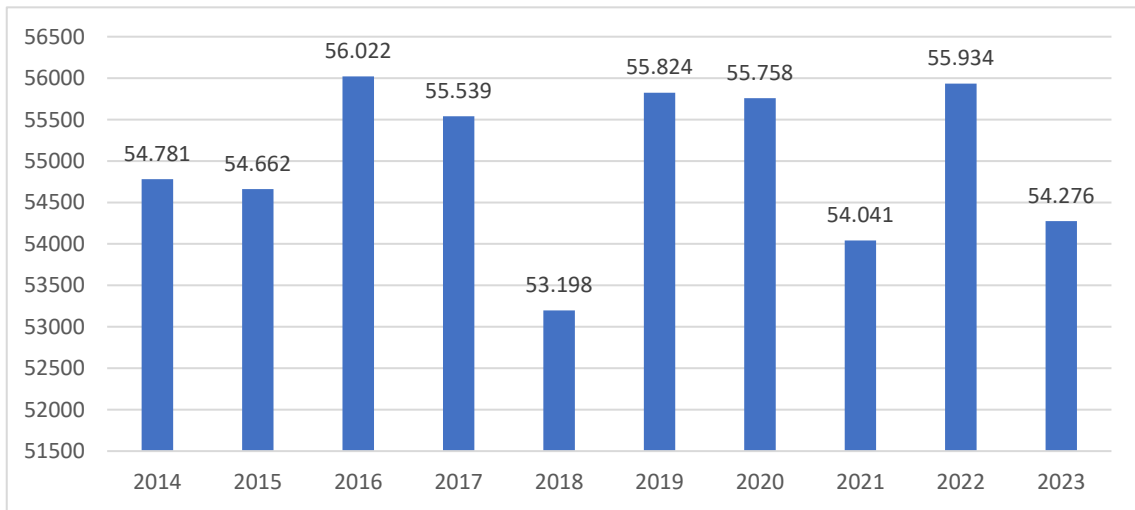
- **Nuclear**

Históricamente la generación de energía nuclear ha sido una parte significativa del desglose de la producción energética. En España contamos con 5 centrales nucleares, en las que se encuentran 7 reactores nucleares activos en total (MITECO, 2023).

En 2023 se generaron 52.934GWh, esto supone que es el sector más importante dentro de la producción de energía no renovable de España. Debemos destacar que pese a ser considerada energía no renovable, es de las que menos contamina ya que se trata de una producción que no emite CO₂. Pese a ello es una de las energías que más críticas recibe debido

a la problemática de los residuos radiactivos que genera y el rechazo de la población frente centrales nucleares.

Figura 8: Generación de energía nuclear en España de 2014 a 2023



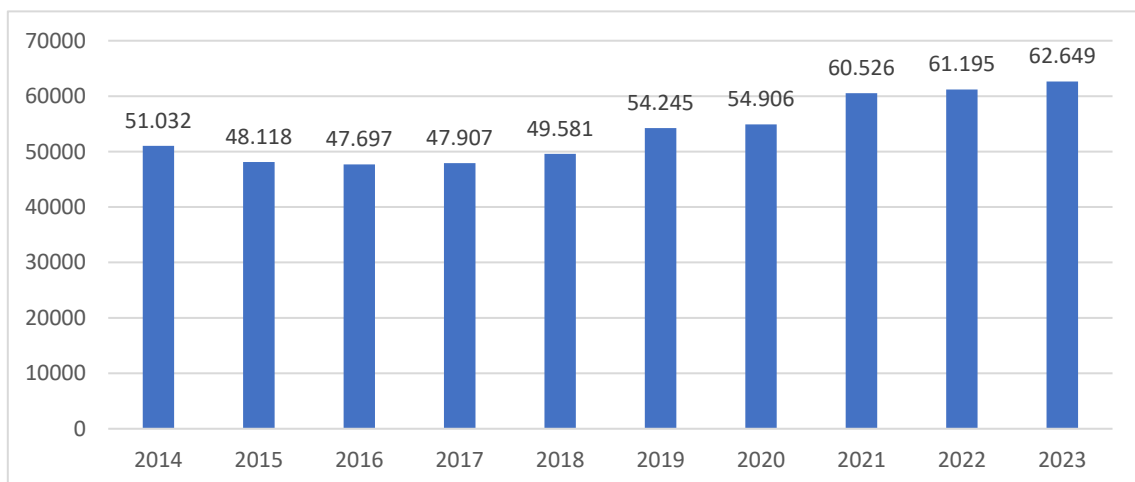
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Red Eléctrica Española (*Red Eléctrica Española, 2024*)

Como vemos en el gráfico, es la energía del sector más “estable” en el tiempo, ya que como podemos observar desde el 2014 la cantidad de energía nuclear generada sufre pequeñas variaciones, que no llegan a ser significativas o que por lo menos, no muestran una tendencia clara.

- **Eólica**

En España la energía eólica es la fuente de energía renovable con más peso en la generación de energía, alcanzando en 2023 los 62.649GWh. Si observamos la tendencia de los últimos años, se ha ido incrementando la inversión en este tipo de fuente de energía.

Figura 9: Energía eólica generada en España de 2014 a 2023



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Red Eléctrica Española (*Red Eléctrica Española, 2024*)

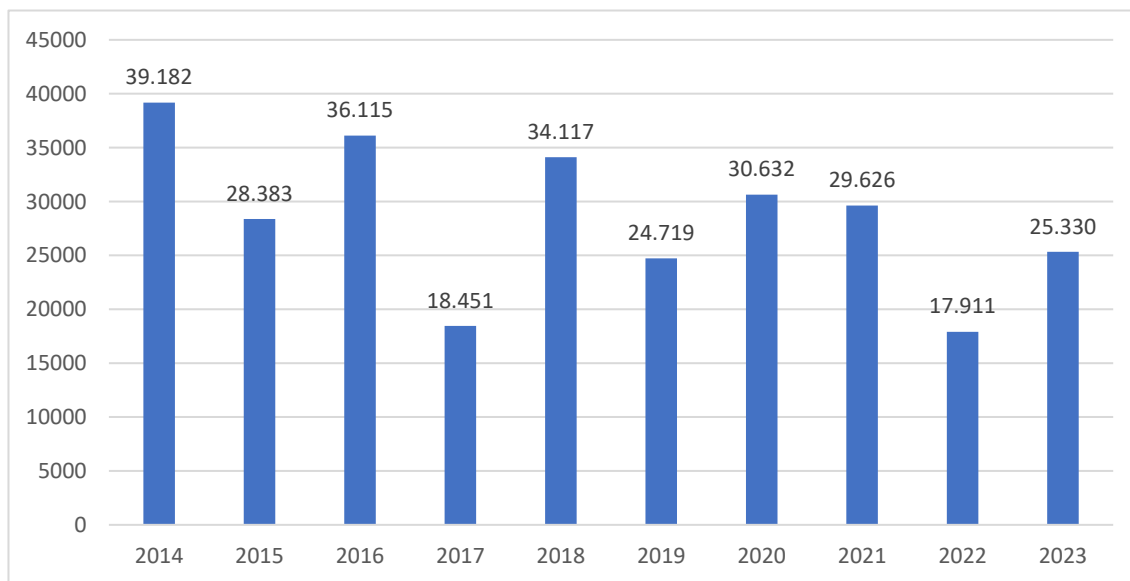
En España se han instalado durante 2023 1640MW de origen eólico, siendo aun así una cifra muy por debajo de los 4GW anuales que son necesarios para poder alcanzar el objetivo de 63GW contemplado en la propuesta del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima para el año 20230 (AEE, 2023).

También debemos tener en cuenta que la eólica marina flotante está ganando peso debido a su gran potencial y que en este 2023 se han habilitado hasta 200 millones de euros en ayudas para I+D (IDAE, 2023).

- **Hidráulica**

El sector de la energía hidráulica actualmente es la tercera energía renovable más generada en España con un total de 25.330 GWh producidos en 2023. Este sector, aunque ha ido incrementando el número de centrales durante años, poco a poco ha ido perdiendo protagonismo debido al auge de otras fuentes de energía renovables.

Figura 10: Generación de energía hidráulica entre 2014 a 2023



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Red Eléctrica Española (*Red Eléctrica Española, 2024*)

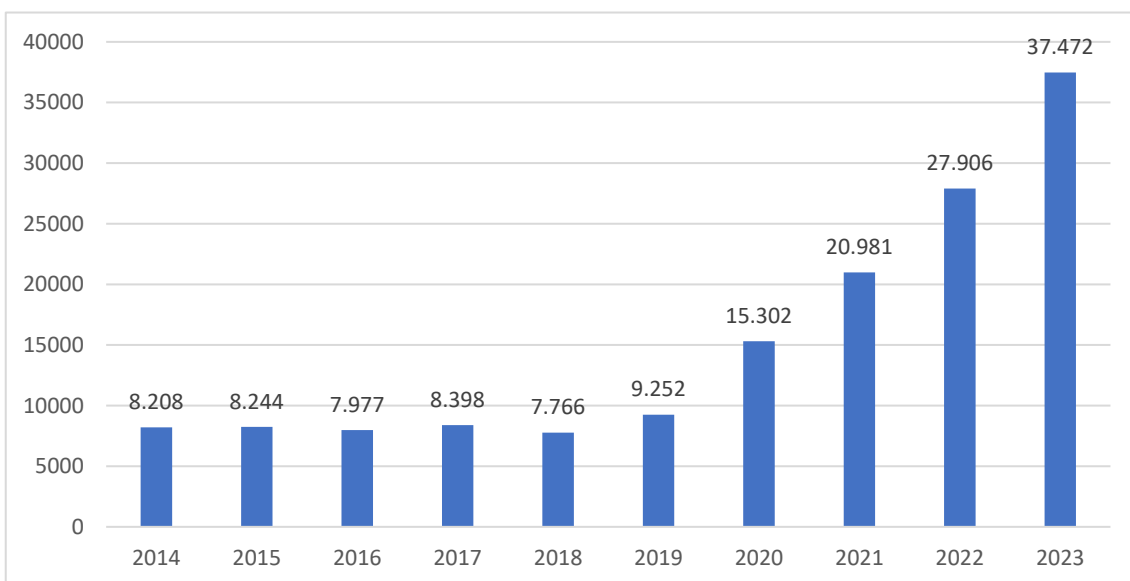
Como vemos en el gráfico, la tendencia desde 2014 es claramente descendente. Observamos en la gráfica años en los que la generación energía es sensiblemente inferior a otros, debido a la dependencia de este tipo de energía de las condiciones climáticas en cada momento, como en el año 2022 en el que España sufrió una sequía histórica, afectando tanto a la generación de energía como en el día a día de algunos municipios españoles.

- **Solar fotovoltaica**

Actualmente, el sector de la energía solar se está consolidando como uno de los de mayor crecimiento en España, no sólo en proyectos de suelo sino como una manera de autoabastecimiento para empresas o incluso viviendas. En 2022 ha sido el sector con más crecimiento tanto en potencia instalada como en generación.

Continuando con la tendencia positiva de este sector, cabe destacar que, según el Plan Nacional de Energía y Clima 2021-2030 (PNIEC), se prevé que hacia 2030 habrá una instalación para este tipo de energía que alcanzará los 39GWh, debido a que se invertirán cerca de 20.000 millones de euros para alcanzar dicho objetivo.

Figura 11: Energía solar fotovoltaica generada en España entre 2014-2023



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Red Eléctrica Española (*Red Eléctrica Española, 2024*)

Observando la gráfica, no es hasta 2020 cuando apreciamos un cambio significativo en la generación de energía fotovoltaica, pasando de 9.252GWh en 2019 a 27.906GWh en 2022, triplicando su producción en 3 años, consolidándose en 2023 como la segunda energía renovable que más se genera en España.

3.4. Futuro de las energías renovables en España

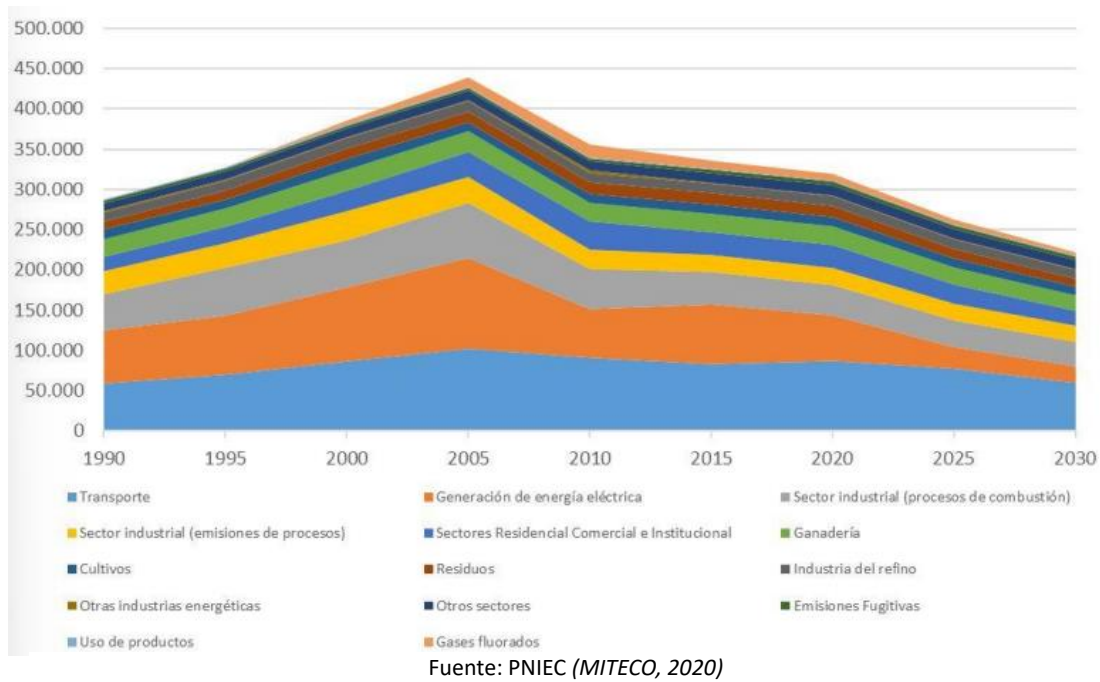
Una vez que analizada la situación actual, el contexto y la evolución de las fuentes de energía más importantes del sector, nos toca hablar del futuro que tanto España como la Unión Europea quieren alcanzar.

El futuro de la energía renovable en España está marcado por el llamado Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030, del que ya hemos hablado anteriormente en varias ocasiones. Este plan se realizó por petición de la UE a todos sus estados miembros para

tener compromiso y asegurarse de que los países cumplan las premisas y muestren sus estrategias.

Como objetivos a largo plazo, España pretende ser un país neutro en carbón en 2050, es decir, alcanzar cero emisiones netas de gases de efecto invernadero y descarbonizar la economía nacional.

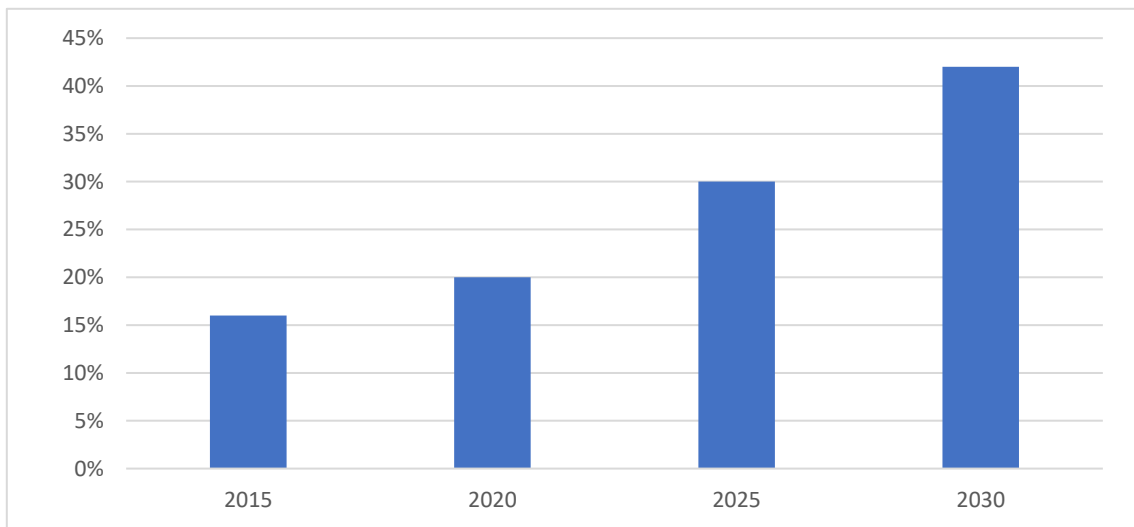
Figura 12: Emisiones de CO2 por sector



Las medidas que se contemplan en el PNIEC permitirán que se pueda alcanzar una reducción de emisiones del 23% respecto a los niveles de 1990.

Además, también se propuso como hemos comentado, la reducción del uso de

Figura 13: % objetivo de generación de energía renovable para 2030



Fuente: Elaboración propia a partir del PNIEC (MITECO, 2020)

combustibles fósiles y a la promoción de las fuentes de energía renovables en los tres usos de energía principales que son transporte, calefacción y refrigeración y electricidad, teniendo como objetivo que en 2030 el 42% del consumo final de energía sea proveniente de energías renovables.

Otro punto importante para el futuro es la generación de energía basada en fuentes renovables. El plan marca que con las medidas se logrará un 74% de generación de origen renovable en el “mix” eléctrico en 2030, que será clave para la búsqueda de un sistema descarbonizado. Para ello, harán falta grandes inversiones en proyectos de generación, incentivar el autoconsumo, y potenciar con nuevas medidas el uso de energías renovables.

Tabla 3: Previsiones de generación en MW por fuente de energía para 2030

Año	2015	2020*	2025*	2030*
Eólica	22.925	28.033	40.633	50.333
Solar fotovoltaica	4.854	9.071	21.713	39.181
Solar termoelectrica	2.300	2.303	4.803	7.303
Hidráulica	14.104	14.109	14.359	14.609
Bombeo mixto	2.687	2.687	2.687	2.687
Bombeo puro	3.337	3.337	4.212	6.837
Biogás	223	211	241	241
Otras renovables	0	0	40	80
Biomasa	677	613	815	1.408
Carbón	11.311	7.897	2.165	0
Ciclo combinado	26.612	26.612	26.612	26.612
Cogeneración	6.143	5	4.373	3.670
Fuel y Fuel/Gas (Territorios no peninsulares)	3.708	3.708	2.781	1.854
Residuos y otros	893	610	470	341
Nuclear	7.399	7.399	7.399	3.181
Almacenamiento	0	0	500	2.500
Total	107.173	111.829	133.802	160.837

Fuente: PNIEC (MITECO, 2020)

*Los datos de 2020,2025 y 2030 son estimaciones

Según las previsiones reflejadas en la tabla, la gran apuesta de las energías renovables parece que serán la energía eólica y la energía solar fotovoltaica, que como ya hemos visto, actualmente son las de mayor peso entre las fuentes de energías renovables (MITECO, 2020).

4. Mercado eléctrico español

Una vez hemos analizado la situación actual y el futuro de las fuentes de energía en España, explicaremos el funcionamiento del mercado eléctrico español. En los últimos tiempos ha ganado importancia debido a las polémicas en las que se ha visto envuelto desde la crisis del COVID-19, y ha levantado mucho interés en una gran parte de la población. Por ello vamos a tratar de explicar y profundizar en el complejo funcionamiento de este mercado.

4.1. Funcionamiento del mercado eléctrico español

El mercado de electricidad en España se divide en una secuencia de 4 grandes mercados en los cuáles generación y demanda intercambian energía y reservas para distintos plazos.

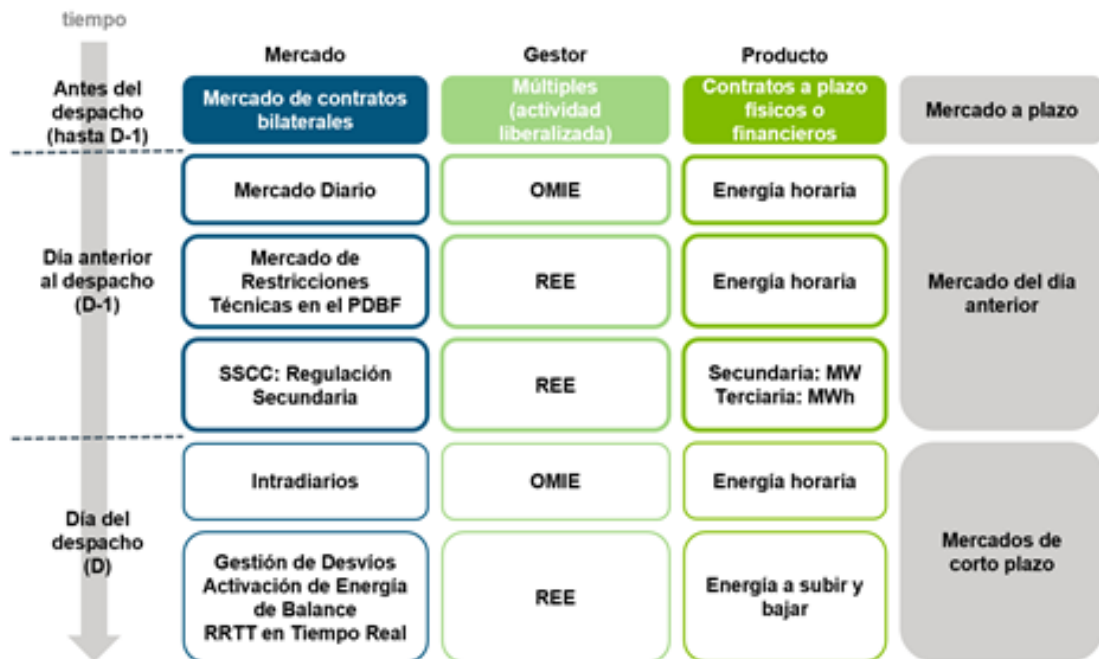
Este mercado se define como un sistema marginalista, ya que el precio de la energía se establece por las ofertas de compraventa realizadas por los agentes del mercado que operan en el Mercado Ibérico de la Electricidad (MIBEL).

Uno de los agentes que participa en el mercado es el Operador del Mercado Ibérico de Energía (OMIE). Esta organización pretende aumentar la transparencia, el libre mercado y actúa de forma imparcial sobre el mercado ibérico de la electricidad.

La REE es otro de los agentes que actúan en el sistema, entre sus principales actividades destaca el transporte de la energía eléctrica y opera en el mercado de ajuste para asegurar el correcto funcionamiento y continuidad del suministro eléctrico.

Para entender el funcionamiento del sistema y del mercado eléctrico vamos a observar la siguiente imagen.

Figura 14: Secuencia de mercados en el MIBEL



Fuente: Manual de la electricidad (*Energía y sociedad, 2023*)

Como vemos tenemos 3 fases temporales marcadas, que son antes del despacho, día anterior al despacho y día de despacho. En cuanto a la primera fase (hasta D-1), son las transacciones en los llamados mercados a plazo, estos contratos se pueden formalizar días, semanas, meses e incluso años antes del momento en el que la energía sea generada y consumida.

Al llegar al día anterior al despacho (D-1), los agentes que participan intercambian energía horas antes al día de despacho. Por último, tenemos el día de despacho, que tiene como base el mercado intradiario que explicaremos a continuación (*Energía y sociedad, 2023*).

Tipos de mercados

- **Mercado a plazo:** Es el mercado que se realiza con mayor antelación, este como mencionamos puede ser días, semanas e incluso años antes de la adquisición de la energía. Los agentes adquieren e intercambian contratos de adquisición de energía lo que les asegura una parte de las ofertas y ayuda a estabilizar el mercado. Las ofertas lanzadas están incluidas en el mercado diario, por lo que ofertas y contratos afectarán al precio del mercado diario.
- **Mercado diario:** Es el mercado más conocido e influyente de los mercados que conforman el MIBEL. El día antes al despacho los agentes lanzan ofertas de compra y

venta de energía para los tramos horarios establecidos del día. Este sería el punto de partida a partir del que un algoritmo llamado “Euphemia” es el encargado de combinar y cruzar todas las ofertas, obteniendo un precio de la energía que viene determinado por las ofertas realizadas por los agentes. El algoritmo persigue la maximización del excedente o ganancia, tanto de compradores como de vendedores (Operador del Mercado Ibérico de la Energía, 2023).

- **Mercado intradiario:** Este mercado es el que se ejecuta durante el día de despacho, horas antes de la adquisición de energía. El mercado posibilita a los agentes la oportunidad de modificar las ofertas que realizaron en el mercado diario con unas horas de antelación. Este mercado sirve de gran ayuda para las empresas a la hora de evaluar sus costes de oportunidad, sobre todo en situaciones de riesgo o incertidumbre, como problemas meteorológicos u otros problemas, que provocan que no puedan abastecer la oferta que establecieron con anterioridad y posibilita que otros agentes con mejores condiciones puedan intervenir en el mercado y puedan satisfacer la oferta.
- **Mercado de ajuste:** Este mercado se divide en submercados, regulaciones y procesos que se realizan el día anterior o el día de despacho. El objetivo de este mercado es asegurar y comprobar el buen funcionamiento del mercado y eliminar y arreglar los posibles desequilibrios.

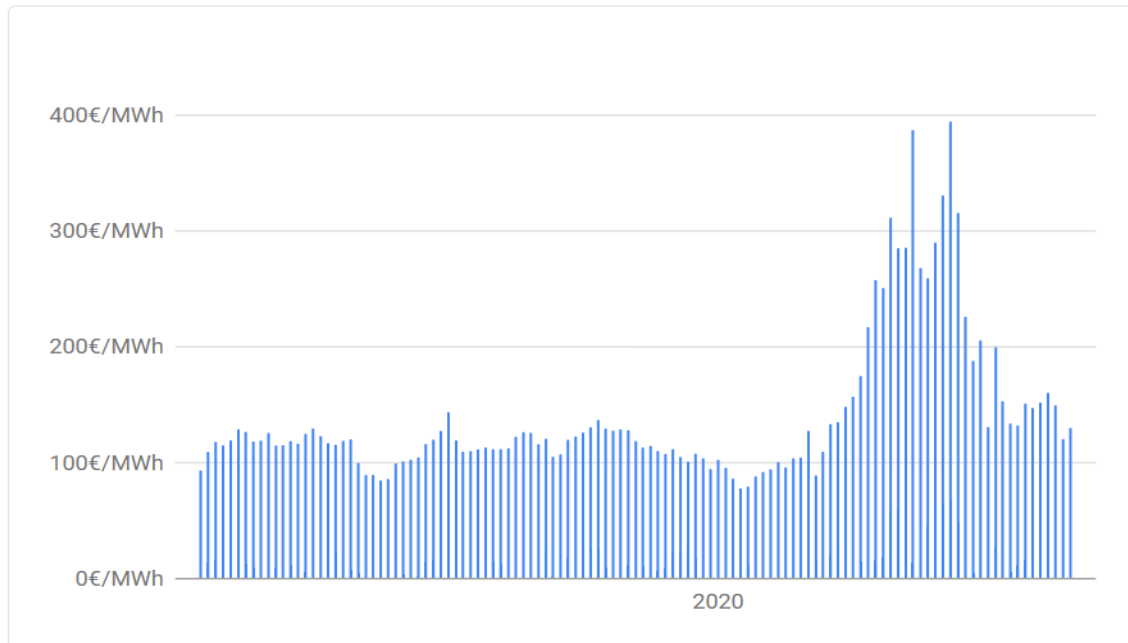
4.2. El precio y su evolución

El precio de la luz se establece en el mercado diario, se le califica como “pool eléctrico”, ya que las empresas lanzan sus ofertas para el día siguiente, y con esas ofertas se satisface la demanda del mercado, a un precio de mercado, llamado precio marginal.

Se denomina precio marginal al precio que fija la última central en entrar en este “pool”, por lo tanto, los precios suelen estar marcados por los ciclos(gas) o las centrales de carbón que son las últimas en participar, ya que son las más caras. Por lo tanto, este precio es el que se paga

cada día por el megavatio, sea cual sea la central que lo haya ofrecido en la subasta (Civieta, 2021).

Figura 15: Evolución del precio de la luz



Fuente: Precio de la luz (Precio de la luz, 2024)

En esta gráfica podemos observar la tendencia del precio medio la luz desde el 2014 hasta 2023. Podemos ver que desde 2014 hasta 2020 el precio de la luz se ha mantenido estable, hasta que a partir de 2019 se aprecia una bajada del precio medio debido a una bajada del precio marginal, esto es gracias a una disminución de precios de los combustibles fósiles.

Por otro lado, en 2020, año de inicio de la pandemia, se alcanzó un mínimo histórico en abril, donde el precio medio fue de 78,70€/MWh. En 2021 ya podemos observar una tendencia al alza bastante significativa en comparación con años anteriores, esto es debido a la dependencia energética que tiene España, especialmente al gas ruso, que ya se estaba preparando para el conflicto, de ahí la tendencia creciente de los precios de la luz ya en 2021

En 2022 sigue al alza el precio de la luz, hasta que en febrero de 2022 estalla el conflicto entre Rusia y Ucrania, por lo que se da lugar otra subida de precios debido al aumento de precios de los combustibles fósiles. En agosto de 2022 llegamos al precio medio mensual más alto desde que tenemos datos, llegando a 395,23€/MWh.

Finalmente, en cuánto a 2023, desde agosto de 2022 los precios se han ido estabilizando, llegando a valores similares a los de prepandemia, aunque un poco más elevados.

5. El biogás

En este trabajo cuando hemos hablado sobre las energías renovables no hemos mencionado el biogás, por lo que a continuación conoceremos esta energía renovable, sus usos y su importancia como promotora de la economía circular y su futuro como fuente de energía renovable.

5.1. ¿Qué es el biogás?

El biogás es uno de los combustibles que cada vez está ganando más importancia como fuente de energía. Este gas está catalogado como una fuente de energía renovable debido a que su generación exige la eliminación de residuos contaminantes y su utilización reduce los gases de efecto invernadero. Esta energía está completamente relacionada con la economía circular, ya que como acabamos de comentar, a través de su producción conseguimos convertir residuos contaminantes, que no sólo contaminan si no que su gestión supone un problema, en diferentes productos finales.

Su producción se realiza a través de un proceso de digestión anaeróbica (sin oxígeno) de biomasa. Se trata de transformar los residuos ganaderos, residuos agroindustriales, residuos domésticos... cualquier tipo de materia orgánica en descomposición. En este ambiente sin oxígeno, proliferan bacterias capaces de descomponer la materia orgánica, en este proceso de descomposición, estas bacterias producen fertilizante y biogás. El biogás está compuesto principalmente por metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂), junto con pequeñas cantidades de otros gases como nitrógeno, oxígeno, sulfuro de hidrógeno y vapor de agua.

El biogás es la única energía renovable que puede usarse para cualquier aplicación energética conocida. Por un lado, resulta ser un sustituto bastante eficiente del gas natural, ya que su uso se extiende tanto como combustible para ciertos medios de transporte, como para prestar un servicio de calefacción y agua caliente, igual que sucede con la quema de gas natural. Por otro lado, el biogás también se puede utilizar para producir energía eléctrica, ya que, quemando biogás, se puede calentar un circuito de agua que, al evaporarse, activa una serie de turbinas, lo que permite convertir la energía del movimiento en electricidad.

Además de estas ventajas en su aplicación como fuente de energía renovable y ecológica es claramente una energía que fomenta la economía circular. Sin embargo, no es una fuente de energía exenta de desventajas o desafíos, y en el caso del biogás son bastante claros:

- Su producción presenta impurezas que pueden provocar daños en motores, esto es debido a que aún no ha llegado a un punto mayor de desarrollo.
- La eficiencia de los sistemas actuales de producción es limitada, y no existen propuestas tecnológicas nuevas, factor importante para explicar el hecho de que no se haya logrado la producción a gran escala. Se requiere un control y monitoreo constante para garantizar el funcionamiento óptimo del digestor.
- Hasta ahora no ha sido una opción atractiva desde el punto de vista financiero, por lo que son necesarios apoyos institucionales para impulsar su producción.
- Es necesario tener una buena disponibilidad de residuos orgánicos para la producción del biogás, por lo que es fundamental seleccionar bien los residuos en función de la situación geográfica, así como su calidad ya que influye en la cantidad de biogás final producida.

Estas limitaciones y consideraciones muestran lo importante que es en este caso realizar un análisis exhaustivo de viabilidad antes de emprender un proyecto de producción de biogás, ya que es necesario tener controladas todas las variables mencionadas.

5.2. Contexto actual del biogás en España y Europa

Según el informe “2023 REPORT ON BIOGAS”, que analiza las tendencias del consumo y producción de biogás y biometano en la UE, el crecimiento de este sector en Europa ha sido exponencial en las últimas décadas. En 2006 el consumo interior bruto de biogás se situaba en torno a las 3000 ktep, mientras que en 2021 se sitúa en 15075 ktep. Para explicar este crecimiento del biogás, tan importante por sus ventajas medioambientales, debemos destacar el incremento de las medidas políticas para fomentar este sector, como por ejemplo el plan de acción REPower que desarrolló la Comisión Europea, consecuencia de la invasión a Ucrania y la dependencia del gas ruso.

España es uno de los países con mayor potencial para producir biogás, debido a que se ha identificado un amplio abanico residuos orgánicos que podrían ser utilizados para la producción de biogás, aumentando el potencial energético del sector. Si a esto le sumamos la investigación y el desarrollo de las tecnologías, estamos ante una posible mejora significativa en cuánto a eficiencia y calidad del biogás generado que será clave para el desarrollo e implantación futura de esta fuente de energía. Todo ello influiría en gran medida al proceso de transición energética deseado tanto por España como por la Unión Europea

España tiene como objetivo multiplicar por 3,8 la cifra de producción de energía de 2,74TWh en 2020 hasta 10,4 TWh en 2030. Sin embargo, este objetivo se hace imposible sin la existencia de mecanismos de apoyo que impulsen al biogás a ser una alternativa viable económicamente (IDAE, 2022). Este apoyo a lo largo de los años ha sido más bien poco visible. La situación está cambiando paulatinamente mediante la creación de la “Hoja de Ruta del Biogás”, pero es necesario más apoyo, tanto económico como administrativos que eliminen las barreras regulatorias y agilicen la obtención de permisos y trámites para crear nuevas instalaciones (MITECO, 2022).

6. Estudio de prefactibilidad de una planta de biogás en Galicia.

6.1. Idea y motivaciones

La idea de elaborar este estudio de prefactibilidad de una planta de biogás nace debido a raíz de los estudios en los que actualmente se encuentra la Universidad de Santiago de Compostela, concretamente varias facultades del Campus Terra de Lugo, en el cuál colaboran investigadores de la Facultad de Ciencias, la Facultad de Administración de Empresas y la Escuela Politécnica Superior de Ingeniería. Estos proyectos se denominan AGRORES/AGROMANURE. Los proyectos integrados en AGRORES (PID2021-126349OB-C21 y PID2021-126349OB-C22) y el proyecto AGROMANURE (TED2021-129533B-I00) cuentan con financiación del Ministerio de Ciencia e Innovación y la Agencia Estatal de Investigación, mediante fondos de la Unión Europea.

El conocimiento de las posibilidades del biogás como fuente de energía que más potencian la economía circular es otra de las motivaciones claves para realizar este estudio. ya que convierten residuos que hasta ahora se consideraba un problema, en productos válidos tanto para la generación de energía como biofertilizantes para los campos. Es por lo tanto una energía muy interesante de cara al futuro, ya que es un objetivo de los gobiernos fomentar la economía circular y favorece la transición energética que el gobierno está tratando de conseguir, como vimos en la primera parte del trabajo.

Debemos tener en cuenta que se trata de un estudio de prefactibilidad, por lo que es un análisis preliminar de una idea, ya que el proyecto se encuentra ahora mismo en esta fase incipiente. Se lleva a cabo para tratar de determinar si existe posibilidad de que el proyecto sea viable, por lo que los resultados del proyecto final pueden variar.

6.2. Ubicación geográfica

Como he comentado anteriormente, este trabajo está estrechamente relacionado con los proyectos de investigación que se están llevando a cabo en la universidad como son AGRORES/AGROMANURE. A su vez estos proyectos nacen de la cooperación de la universidad con una cooperativa gallega de ganaderos y una planta de tratamiento de residuos, interesados en la realización de un estudio sobre la implementación de una planta de biogás debido a la gran concentración de explotaciones y cabezas de vacuno en la provincia de Lugo.

A continuación, analizaremos la situación actual a nivel nacional de las plantas de biogás, y también por qué Lugo es una zona con gran potencial para la gestión de residuos de explotaciones ganaderas de vacuno.

Actualmente, según los establecimientos registrados por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, en España existen 62 plantas de biogás registradas en las diferentes comunidades autónomas, la distribución es la siguiente:

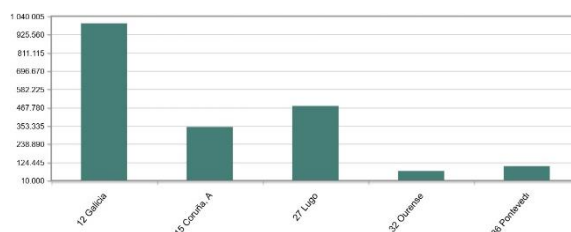
Tabla 4: Plantas de biogás registradas por el Ministerio de Agricultura

COMUNIDAD AUTÓNOMA	PLANTAS DE BIOGÁS
Andalucía	5
Aragón	4
Asturias	2
Baleares	1
Castilla la mancha	8
Castilla y León	5
Cataluña	21
Galicia	3
Madrid	1
Murcia	3
Navarra	3
País Vasco	2
Comunidad Valenciana	4

Fuente: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (*Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2023*)

Como vemos, en Galicia existen 3 plantas de biogás, dos de ellas están situadas en la provincia de Lugo, y la restante situada en la provincia de A Coruña. Como comentamos anteriormente en el trabajo, el biogás se puede generar a partir de diferentes tipos de residuos, residuos provenientes de la industria agroalimentaria, fracción orgánica de residuos domésticos y lodos de EDAR. En nuestro caso, los residuos a utilizar son los provenientes de cabezas de vacuno, y que como veremos en la siguiente gráfica, en Galicia y en Lugo existe un número elevado de estas especies.

Figura 16: Número de cabezas de vacuno en Galicia en 2020



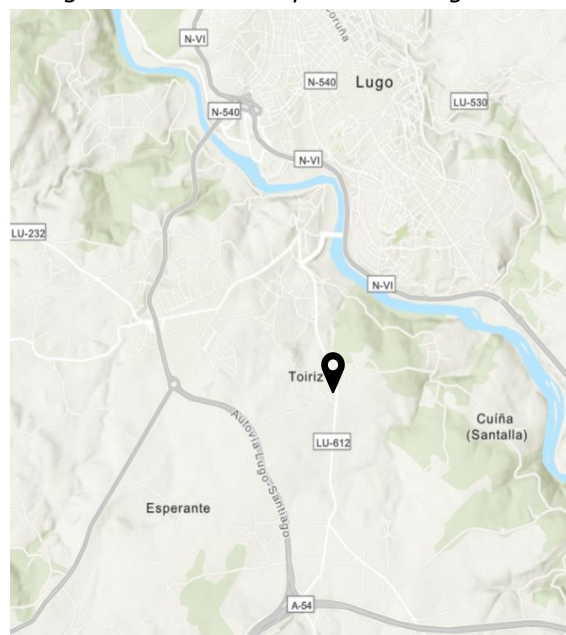
Fuente: Instituto Nacional de Estadística (*INE, 2024*)

Según el INE, en 2020 en Galicia había un total de 994.515 cabezas de vacuno de las que 477.247 corresponden a la provincia de Lugo. Es la provincia que cuenta con más cabezas de vacuno y en consecuencia la que genera mayor cantidad de residuos, por lo que resulta la provincia más atractiva si nos planteamos la creación de una planta de biogás para su gestión.

Resulta interesante la circunstancia de que Lugo es la comunidad con más cabezas de vacuno de Galicia e incluso España y, sin embargo, sólo cuenta con dos plantas de biogás en el territorio, cuándo por volumen de residuos generados podrían existir más. Cabe destacar que en el último año se han oficializado varios proyectos relacionados con plantas de biogás en la provincia de Lugo, por lo que esta situación parece que está cambiando.

Dentro del marco de investigación del proyecto de AGRORES/AGROMANURE, para la selección de la ubicación se ha tenido en cuenta la distancia entre las explotaciones involucradas y la hipotética colocación de la planta de tratamiento de residuos, concluyendo que la ubicación

Figura 17: Ubicación planta de biogás



Fuente: Mapa recuperado de ArcGIS

óptima se encontraría en la carretera LU-612, entre los kilómetros 6-12, debido a la alta concentración de explotaciones ganaderas en la zona. En la zona geográfica seleccionada por el proyecto se incluyen un total de 42 explotaciones ganaderas.

6.3. Funcionamiento de planta de biogás

En este apartado, explicaremos el funcionamiento de una planta de biogás, pasando por sus fases más relevantes, desde la recogida del residuo hasta la obtención de los productos.

Debemos tener en cuenta que las plantas de biogás son un claro ejemplo de lo que significa economía circular, ya que los inputs de estas plantas son considerados residuos contaminantes en otras actividades económicas con los consecuentes problemas de gestión de los mismos. Gracias a la implementación de plantas de este estilo, estos residuos pueden

transformarse en ingresos u otras prestaciones, como autoconsumo de energía o creación de biofertilizantes.

Existen muchos tipos de plantas de biogás en función de sus residuos, de sus técnicas de transformación de los residuos y de los usos de los productos finales. En el marco del proyecto se ha optado por una planta de biogás de digestión anaeróbica, lo que nos abre un abanico de posibilidades en cuando a los factores de producción que explicaremos a continuación.

- **Factores de producción utilizados en la planta**

Primero vamos a comentar los factores productivos que se ven involucrados en este proceso de digestión anaeróbica. Posteriormente explicaremos cómo funciona una planta de biogás de digestión anaeróbica.

- **Inputs**

Las explotaciones ganaderas que suministrarían los residuos tratan con cabezas de vacuno de leche, por lo tanto, los residuos de los que dispondríamos como input sería principalmente estiércol de vaca.

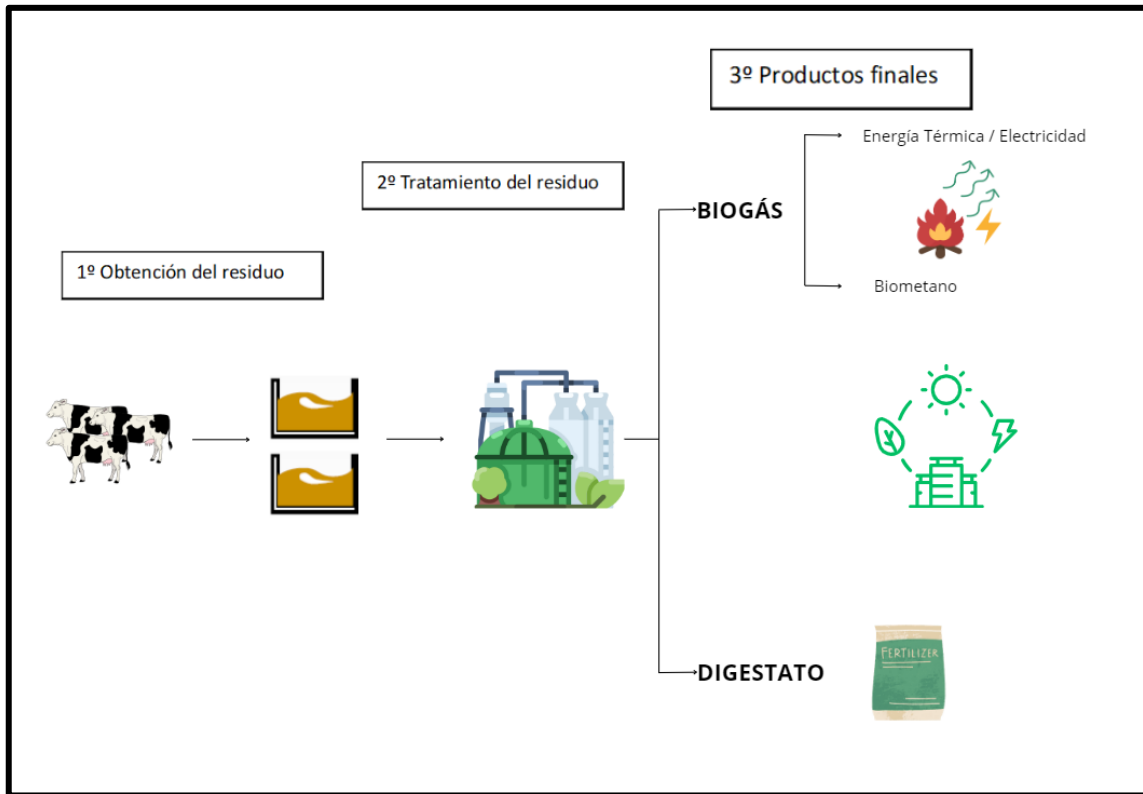
- **Outputs**

La técnica de tratamiento de los residuos utilizada, la digestión anaeróbica, nos permite la obtención de 3 outputs:

- **Digestato:** Material obtenido tras la digestión anaeróbica. Este material todavía contiene un alto contenido de propiedades y nutrientes, que le permiten ser utilizado como un fertilizante de alta calidad.
- **Biogás:** El biogás se obtiene a través de la digestión anaeróbica de los residuos, siendo una mezcla de gases producidos por la descomposición de la materia.
- **Biometano:** El biometano es un gas renovable que se obtiene a partir del enriquecimiento del biogás, que consiste en un proceso por el cuál eliminamos el CO₂, consiguiendo un gas con unas características similares al gas natural.

A continuación, vamos a responder a la pregunta ¿cómo funciona una planta de biogás de digestión anaeróbica? Para explicar breve y visualmente el funcionamiento de una planta de biogás de digestión anaeróbica he elaborado una pequeña ilustración.

Figura 18: Funcionamiento planta de biogás



Fuente: Elaboración propia

Como vemos en la ilustración, para explicar con mayor facilidad el funcionamiento de la planta de biogás, se ha dividido su proceso en tres fases: 1º Obtención del residuo, 2º Tratamiento del residuo, 3º Productos finales.

1º. Obtención del residuo

Como su nombre indica, esta fase consiste en la obtención de los residuos que se van a tratar dentro de la planta. En nuestro caso, la planta va a tratar principalmente con residuos generados por explotaciones de vacuno de leche y otros relacionados. La cantidad de residuo que utilizaremos vendrá suministrada principalmente por los propietarios de las explotaciones.

Por lo tanto, esta fase consiste simplemente en la obtención y transporte de los residuos a tratar dentro de la planta.

2º. Tratamiento del residuo

Una vez tenemos los residuos, se introducen dentro de los digestores, dando comienzo así a la segunda fase que denominaremos tratamiento del residuo.

El proceso utilizado para la obtención de productos finales es el de la digestión anaeróbica. Como consecuencia de este proceso, el residuo utilizado se va degradando dentro del digestor obteniendo biogás y digestato.

Dentro de esta fase existen dos criterios que son importantes para el tratamiento del residuo y para el funcionamiento de la planta, que son los regímenes de temperatura a los que opera el digestor y el régimen de alimentación al que estará sometido el digestor.

En nuestro caso, desde el proyecto AGRORES/AGROAMANURE se ha decidido que los regímenes apropiados para nuestra planta serán:

- Temperatura, el reactor operará en un régimen mesofílico, es decir, operará a una temperatura alrededor de 30-45º.
- Alimentación, existen varios métodos para alimentar el digestor, en nuestro caso, se ha decidido usar un régimen de alimentación semi-continuo o continuo. Esto significa que los digestores son cargados periódicamente y cuentan con una cantidad de residuo constante, es decir, la materia que se añade en el digestor siempre es equivalente a la materia que retiramos del digestor.

Lo interesante de esta fase, dejando a un lado el régimen de alimentación o de temperatura, es sin duda la obtención de los productos finales, los cuáles son los que finalmente vamos a comercializar o a utilizar para autoconsumo.

3º. Uso productos finales

En esta tercera fase hablaremos de los usos finales de los productos que obtenemos con la digestión anaeróbica. Como ya hemos hablado de los productos finales anteriormente, simplemente nos vamos a fijar en los posibles usos que le podemos dar a estos outputs.

- Biogás: Este gas obtenido en el proceso de digestión anaeróbica, debe ser sometido a un proceso de limpieza para que sea posible darle uso. Los usos del biogás son principalmente:
 - Calor, tras el proceso de limpieza, este gas se puede aplicar en calderas, calentadores, principalmente se usa para autoconsumo, tanto en las instalaciones (granja, casa...), así como también calor complementario para el digestor.
 - Electricidad, al igual que con la generación de energía térmica, el gas se puede transformar en electricidad a través de un motor turbina. En el caso de la electricidad nos encontramos con un abanico de posibilidades mayor. Esta

energía se puede utilizar para autoconsumo o incluso para transformarla también en energía térmica, tanto para las instalaciones como para la planta. Por último, esta energía generada también puede ser utilizada para la venta a terceros, como plantas eléctricas.

- Biometano, como comentamos anteriormente es un subproducto procedente del biogás, y es necesario aplicarle un proceso de “upgrading” para eliminar el CO₂. Puede ser una de las opciones más interesantes de una planta de biogás, ya que este gas renovable tiene características muy similares al gas natural, por lo que existe la opción de venderlo a través de la inyección en la red gasista de gas natural, o incluso como combustible de vehículos.

6.4. Estudio viabilidad económica

Este estudio de viabilidad económica se realiza en base a la obtención de datos e información facilitada por el proyecto AGRORES/AGROMANURE. Los investigadores y colaboradores del proyecto me han facilitado la asistencia a reuniones sobre el desarrollo del proyecto en las que se han tratado datos e información utilizados en este estudio.

Gran parte de los datos técnicos se han adquirido del trabajo de fin de grado realizado por Rodrigo Soraya Sánchez (2022) de la escuela politécnica de Ingeniería de Minas y Energía de la Universidad de Cantabria. En dicho trabajo realizan un estudio energético y de viabilidad de una planta de biogás de características muy similares a las que se plantean en el proyecto AGRORES, sirviendo de gran apoyo y guía a la hora de confeccionar el modelo económico-financiero.

Para la realización del modelo económico-financiero, nos hemos basado en el modelo realizado por el trabajo de la Universidad de Cantabria, siendo de gran ayuda a la hora de valorizar los costes asociados a la producción de biogás y generación del biometano, o para el reparto de costes, que se realiza de manera porcentual sobre el total como ya veremos en el análisis de costes, aunque hemos añadido otros costes que hemos considerado que influyen al proyecto.

Se ha confeccionado un “escenario base” sobre el que realizamos un primer estudio de viabilidad del proyecto. Las condiciones en las que se ha trabajado para el cálculo de viabilidad económica de este escenario las explicamos a continuación.

Se ha establecido que la planta estará activa 347 días al año, y se estima que la vida útil de la misma será de 15 años, que es la vida útil que tendremos en cuenta a la hora de calcular los flujos de caja y la rentabilidad del proyecto.

Desde el proyecto de AGRORES/AGROMANURE, se estima la producción de purín de cada explotación involucrada teniendo en cuenta las siguientes variables e hipótesis:

- Metros cúbicos (m³) producidos por Unidad de Ganado Mayor (UGM), la media en Galicia es de 26 m³ al año.
- Cálculo de las UGM del censo de cada explotación en función de la siguiente fórmula:

Fórmula: UGM totales en la granja=F3+E3*0,73+(C3+D3) *0,36 donde F3 son bovino de más de 24 meses, E3 bovino entre 12 y 24 meses, C3 y D3 bovino entre 0-6 y 6-12 meses respectivamente.

Por lo tanto, se obtiene una producción de purín de 144.193 m³ de residuo al año. Sin embargo, hemos estimado a partir de la producción diaria de residuo y los días de funcionamiento de la planta, que la planta utilizará 137.082 m³ de residuos.

Desde el proyecto se han estudiado diferentes opciones de dietas para el digestor. Estas dietas se han elaborado en función de la disponibilidad de los recursos de la zona, en las capacidades de generación de gas y en la calidad de los digestatos a la hora de ser utilizados como fertilizantes. La dieta que se utilizará finalmente es:

- 50% de purín: 68.540,99 m³/año
- 35% de lodo láctea: 47.978,70,51 m³/año
- 15% matadero de vacuno: 20.562,3 m³/año

A partir de esta dieta, obtenemos las siguientes cantidades:

Tabla 5: Tabla resumen producción de la planta

Cantidad de residuo	137.082 m ³
Producción de biogás	3.622.138,02 m ³
Producción de biometano	2.438.423,32 m ³
Digestato	15.503,50 t/año

Fuente: Elaboración propia

A continuación, analizaremos y desglosaremos las variables que influyen directamente en el estudio de viabilidad económica-financiera del proyecto:

6.4.1. Inversión

Para el cálculo de los valores de inversión se ha utilizado el programa llamado Smallbiogás, una aplicación web cofinanciada por la Unión Europea. Estos valores incluyen, por un lado, el equipamiento de la planta de digestión, y por otro, el sistema de valorización, donde se realiza el proceso de upgrading al biogás para su conversión en biometano.

Tabla 6: Inversión necesaria para la planta

Inversión	
Planta de digestión	4.767.353,39€
Sistema de valorización	730.385,46€
Total	5.497.738,86€

Fuente: Elaboración propia

Como vemos en la tabla, el total de la inversión asciende hasta los 5.497.738,86€ para una planta que gestionará a lo largo de un año una cantidad total de 137.082 toneladas de residuos.

6.4.2. Análisis de costes

Para el análisis de costes diferenciamos, por una parte, los costes asociados a la producción de biogás y por otra, los asociados a la generación y gestión del biometano.

Coste de producción de biogás

Dentro de los costes de producción de biogás se diferencian los costes fijos y los costes variables. Además, a estos costes también se le sumarán los costes asociados relacionados con el tratamiento posterior del biogás.

Para el cálculo de los costes asociados a la producción del biogás nos hemos basado en el modelo de la Universidad de Cantabria, donde los gastos se calculan en base a un porcentaje sobre el coste total de producción.

Se estima que el coste de producción de biogás ronda los 0,29 €/m³. Además, para nuestro modelo, hemos añadido unos costes variables en los que se ha incluido el coste de transporte del purín y el coste por gestión de residuo, aunque en este escenario base vamos a considerar como un ingreso la gestión del residuo.

Suponiendo que la producción anual de biogás es de 3.622.138,02 m³/año, el desglose de los costes es el siguiente:

Tabla 7: Costes anuales de la planta

COSTE TOTAL DE PRODUCCIÓN – 0,29 €/m³		1.139.849,18€
Costes fijos (35%)	Coste de personal (70%)	279.263,05€
	Otros costes (30%)	119.684,16€
	Total costes fijos	398.947,21€
Costes variables I	Coste de mantenimiento de equipos (35%)	275.717,63€
	Costes de energía eléctrica (30%)	236.329,40€
	Costes de gestión de rechazos (35%)	275.717,63€
Costes variables II (65%)	Coste de recogida de purín €/t	0
	Coste de transporte €/t	89.429,16€
	Total costes variables	877.193,81€

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8: Costes asociados tras la producción

Costes asociados	Acondicionamiento biogás 0,018€/m³	65.198,48€
	Producción de digestato 0,03€/m ³	108.664,14€
	Producción de rechazo 0,012€/m ³	43.465,66€
	Total costes asociados	217.328,28€

Fuente: Elaboración propia

Como podemos ver en el desglose de los costes de producción, los costes totales asociados a la producción de biogás suman un total de:

Total costes de producción: 1.139.849,18€ + 217.328,28€ = 1.357.177,46€

Costes de generación de biometano

Para el cálculo de los costes se ha estimado que el coste neto aproximado de generación de 1MWh de biometano es aproximadamente de 11€. Al igual que el apartado anterior, los costes se calculan en base a un porcentaje sobre el total.

El coste de generación total de biometano es de: 26.968,96 MWh/año x 11€/MWh = 296.658,58€/año.

Tabla 9: Costes de la generación del biometano

COSTE TOTAL DE GENERACIÓN DE BIOMETANO		296.658,58€
Costes fijos 30%	Coste de personal (60%)	53.398,54€
	Mantenimiento de equipo (20%)	17.799,51€
	Energía eléctrica 20%	17.799,51€

	Total costes fijos	88.997,57€
Costes variables 70%	Costes energía (42%)	87.217,62€
	Mantenimiento de equipos (25%)	51.915,25€
	Suministros y combustibles (23%)	47.762,03€
	Gestión de rechazos y residuos (10%)	20.766,10€
	Total costes variables	207.661,01€

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, tras el desglose de los costes realizados, obtenemos que el coste total de la producción de biogás y posterior transformación a biometano es de:

$$\text{Coste total anual: } 1.357.177,46\text{€} + 207.661,01\text{€} = 1.653.836,05\text{€}$$

6.4.3. Análisis de ingresos

Los ingresos proceden principalmente de tres fuentes. Por un lado, la venta del digestato obtenido tras la producción de biogás y digestión del residuo, por otro lado, la venta de energía que obtenemos con la generación del biometano.

Además, como comentamos anteriormente cuándo introducimos el escenario base que estamos analizando, se considerará como un ingreso la gestión y recogida de los residuos para la planta.

Venta de digestato

Para establecer un precio para el digestato nos hemos apoyado en un documento publicado por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE), en el que indican que el fertilizante en pellets se puede vender a un precio de 40€ la tonelada aproximadamente. Por lo tanto, el precio de venta del digestato será de 40€.

Teniendo en cuenta que la cantidad de digestato que obtenemos es de 15.503,50 t/año. Los ingresos por la venta de digestato son:

$$\text{Ingresos por venta de digestato: } 15.503,50 \text{ t} \times 40\text{€/t} = 620.139,94\text{€/año}$$

Venta de biometano

Para establecer el precio del biometano, hemos extraído del Mercado Ibérico del Gas (MIBGAS) los datos históricos de los precios del GNL del año 2023 y hemos hecho un promedio del precio para este escenario. El precio que hemos obtenido de la media de 2023 es de 40,29€.

Sabiendo que se genera una energía de 26.968,96 MWh/año, los ingresos por la venta de energía son:

Ingresos por venta de energía: $26.968,96 \text{ MWh} \times 40,29\text{€} = 1.086.579,47\text{€}$

Ingreso por recogida y gestión de residuos

Como mencionamos anteriormente, en este escenario vamos a considerar esta variable como un ingreso. Se aplicará una tarifa de 2,5€ por tonelada de residuo.

Por lo tanto, sabiendo que se gestionarán en la planta 137,082 toneladas, el ingreso por recogida y gestión de residuos es:

Ingreso por gestión de residuos: $137,082\text{t/año} \times 2,5\text{€/t} = 342.705\text{€}$

Ingresos totales

Tras analizar las fuentes de ingresos de la planta, obtenemos unos ingresos anuales de 2.049.424,41€.

Tabla 10: Ingresos anuales de la planta

Ingresos	
Venta de digestato	620.139,94€
Venta de biometano	1.086.579,47€
Ingreso por gestión de residuos	342.705€
Total	2.049.424,41€

Fuente: Elaboración propia

6.4.4. Análisis de rentabilidad

En este apartado, realizaremos un análisis de rentabilidad del proyecto, centrándonos en parámetros como el Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Rentabilidad (TIR) y los flujos de caja. Para el análisis los ingresos se supondrán constantes, en cambio, los costes crecerán anualmente, suponiendo un crecimiento anual del 5% del Índice de Precios de Consumo (IPC).

Flujos de caja

Los flujos de caja de una inversión se calculan como la diferencia entre entradas de caja o ingresos y las salidas de fondos o costes. Los flujos de caja del proyecto van a variar cada año, ya que tendremos en cuenta un porcentaje de variación conforme al Índice de Precios al Consumo. Estos flujos de caja estarán reflejados en la tabla al final de este análisis de rentabilidad.

Valor Actual Neto (VAN)

EL Net Present Value o Valor Actual Neto calcula la diferencia entre lo que cuesta un activo y su valor real, o lo que es lo mismo, la diferencia entre el coste de inversión y los costes que ofrece. Para su cálculo debemos conocer los flujos esperados a lo largo de la vida útil del proyecto, en nuestro caso 15 años, y actualizarlos al momento de inicio. Para que un proyecto se considere rentable, el VAN debe ser positivo.

Para el escenario base, hemos optado por utilizar el VAN corregido, esta medida financiera tiene en cuenta que los flujos de caja positivos pueden ser reinvertidos a una tasa de reinversión, esta tasa de reinversión será la misma que el rendimiento de los bonos del estado a 10 años, un 3,41%. Este ajuste nos proporcionará una evaluación más precisa del proyecto.

Tasa Interna de Retorno (TIR)

La TIR es la tasa de descuento que anula el VAN de una inversión, es decir, la tasa de descuento para la cual VAN sería 0. Es una medida que indica la rentabilidad en términos relativos, ya que viene expresado en tanto por cien. De esta manera la TIR se expresa igual que el coste de financiación, por lo tanto, para que un proyecto se considere rentable la TIR debe ser mayor al tipo de interés de su financiación. En nuestro caso la tasa de descuento se sitúa en un 5,90%.

Al igual que con el VAN, para medir la rentabilidad del escenario base, emplearemos la Tasa Interna de Retorno Modificada (TIRM). Esta medida tiene en cuenta las tasas de reinversión y financiación, proporcionando una evaluación más realista y completa del análisis de viabilidad y rentabilidad.

En la siguiente tabla se muestra el desglose de la inversión en los 15 años de vida útil del proyecto.

Tabla 11: Flujos de caja, VAN corregido y TIRM del escenario base

AÑO	INVERSIÓN	COSTES ANUALES	INGRESOS ANUALES	FLUJO DE CAJA
0	5.497.738,86			-5.497.738,86
1		1.653.836,05	2.049.424,41	395.588
2		1.703.451,13	2.110.907,14	407.456
3		1.754.554,66	2.174.234,36	419.680
4		1.807.191,30	2.239.461,39	432.270
5		1.861.407,04	2.306.645,23	445.238
6		1.917.249,25	2.375.844,59	458.595
7		1.974.766,73	2.447.119,93	472.353

8		2.034.009,73	2.520.533,52	486.524
9		2.095.030,02	2.596.149,53	501.120
10		2.157.880,92	2.674.034,01	516.153
11		2.222.617,35	2.754.255,04	531.638
12		2.289.295,87	2.836.882,69	547.587
13		2.357.974,75	2.921.989,17	564.014
14		2.428.713,99	3.009.648,84	580.935
15		2.501.575,41	3.099.938,31	598.363
			VAN corregido	-1.591.510,05€
€			TIRM	3,51%

Fuente: Elaboración propia

Como podemos observar en la tabla, el escenario base planteado para el análisis de viabilidad económica y financiera y según las medidas de rentabilidad explicadas anteriormente, esta opción nos proporciona un VAN de negativo de -1.591.510,05€ y una TIRM del 3,51%, lo que supone que este escenario base planteado no sería viable.

6.5. Análisis de sensibilidad

Una vez hemos estudiado y obtenido los resultados del escenario base, hemos realizado un análisis de sensibilidad de las variables involucradas, que nos permitirá comprobar cuáles de todas las variables que afectan directamente al proyecto son las más críticas.

Se ha dividido el análisis de sensibilidad en dos partes, un análisis de variables y un análisis de escenarios.

6.5.1. Análisis de variables

El objetivo del análisis de sensibilidad es determinar qué variables son las más críticas para el resultado final del proyecto. Para realizar el análisis de las variables utilizaremos el principio de ceteris paribus, es decir, excepto la variable que estamos modificando las demás se mantendrán constantes.

Para este análisis de sensibilidad de las variables hemos decidido seleccionar las variables que consideramos más relevantes para el proyecto. Estas variables son: inversión, precio de venta del biometano, precio de venta del digestato, cantidad de residuo y el % de residuo destinado a la planta y costes. Se utilizará el VAN obtenido en el escenario base, no utilizaremos el VAN corregido.

Una vez seleccionadas las variables a analizar, procedemos a mostrar los resultados obtenidos.

Tabla 12: Análisis de sensibilidad de las variables

Escenario Base			
Variable	Valor inicial	Valor si VAN=0	Variación %
Inversión	5.497.738,86€	4.646.737,93€	-15,48%
Precio biometano	40,29€/MWh	42,98€/MWh	6,68%
Costes totales	1.653.836,05€	1.581.388,15€	-4,38%
Residuo	144.193 t/año	170.600,28t/año	18,31%
% de residuo	50%	59%	18%
Precio del digestato	40€	44,67€	11,68%
VAN	-851.001€		

Fuente: Elaboración propia

Tras este análisis de sensibilidad, podemos comprobar que hay variables que son más críticas que otras, destacando los costes, el precio del biometano o el precio del digestato. Sin embargo, hay una posibilidad que no se ha tenido en cuenta en el escenario base y que ya indicamos en el análisis de ingresos, que es que la planta tenga que pagar por recoger y gestionar los residuos. Este “residuo” es muy utilizado en el día a día de cualquier explotación ganadera, por lo que esta variable va a depender en gran medida de la decisión particular que tome cada propietario de la explotación.

Tras este análisis, clasificamos las variables en dos grupos, variables de mayor incertidumbre y variables de menor incertidumbre.

- **Variables de menor incertidumbre**

Las variables que incluiremos en este grupo son: inversión, costes, cantidad de residuo y % destinado a la planta. Estas variables que consideramos de menor incertidumbre no implica que no sean importantes, ya que como hemos visto en el análisis de sensibilidad estas variables pueden ser críticas.

Consideramos que son más medibles variables como por ejemplo la producción de biogás. En cierto modo es más predecible debido a ser una variable de una naturaleza más técnica, lo que provoca que se mueva en unos valores medios más predecibles. Lo mismo ocurre con la cantidad de residuo que generan un número determinado de cabezas de vacuno, o la inversión, que depende directamente de la cantidad de residuo utilizado.

En el caso de los costes, sabemos que es la variable con la menor variación porcentual, lo que puede significar que es la más sensible. Sin embargo, como hemos visto en el análisis de costes, se tratan principalmente de costes internos que no dependen de un mercado externo. Por ello, consideramos que los costes pueden ser más predecibles y es más difícil que sufran grandes variaciones.

Por lo tanto, a la hora de analizar posibles escenarios de la planta, trataremos estas variables en el modelo como “constantes”.

- **Variables de mayor incertidumbre**

Las variables que vamos a considerar de mayor incertidumbre son el precio del biometano, el precio del digestato y el considerar como ingreso o coste la gestión de los residuos.

En cuanto al precio del biometano, consideramos esta variable completamente externa al proyecto, que depende del mercado y no tenemos control. Revisando los datos históricos de los precios, observamos fluctuaciones importantes. Al ser una variable sensible y que puede fluctuar la consideramos una variable con mucha incertidumbre.

El precio del digestato es una variable sensible en la rentabilidad del proyecto. Esta variable resulta clave para completar el proceso de economía circular en el que se basa la planta, ya que es uno de los outputs que se obtienen de la gestión del residuo, que también puede servir de biofertilizante. Estas características del digestato, que sea un producto novedoso, sobre el que hasta ahora no existe mucha regulación al respecto y que dependa del mercado, hace que consideremos esta variable de mucha incertidumbre.

La gestión de los residuos es bastante compleja, desde el inicio del proyecto se ha querido considerar como un ingreso. Sin embargo, es una materia importante en el día a día de las explotaciones ganaderas, por lo que no es seguro que los ganaderos paguen para que se gestione el residuo.

Observando esta situación, vamos a realizar un segundo análisis en el que plantearemos diversos escenarios en función de si consideremos ingreso o coste la gestión de residuos y también en función del precio del biometano y el digestato adquiriendo diferentes perspectivas.

6.5.2. Análisis de escenarios

Una vez hemos diferenciado las variables que vamos a considerar “constantes” y cuáles vamos a considerar críticas, comenzaremos a estudiar los posibles escenarios que nos podemos encontrar al combinar las variables de gestión de residuos y precio del biometano. En este análisis, vamos a suponer que la variación en las variables que hemos seleccionado tiene la misma probabilidad de suceder.

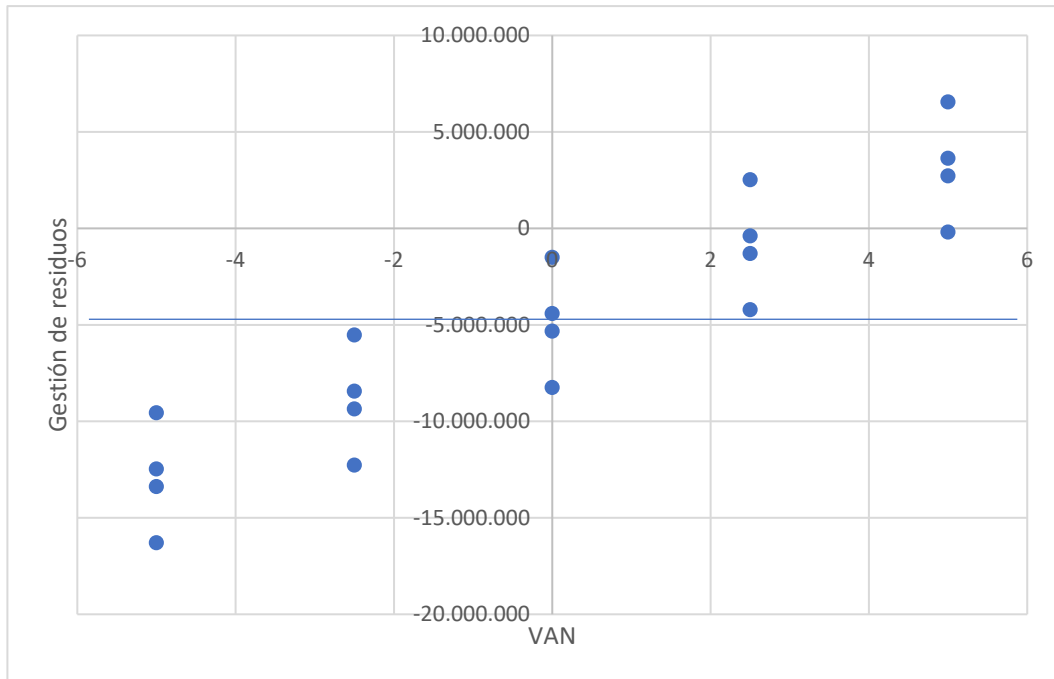
- Gestión de residuos, como mencionamos anteriormente, para el escenario base se consideró un ingreso por gestión de residuo de 2,5€. Vamos a analizar cambios en esta variable dentro de un rango que hemos establecido, que será entre -5€ y 5€.

- Precio del biometano, para esta variable decidimos situarnos en dos perspectivas posibles, una optimista y otra pesimista. Como vimos en el análisis de sensibilidad, una variación del 6,68% en esta variable puede suponer que el proyecto comience a ser viable. Aplicaremos al precio medio de 2023 unas variaciones del 15% a las opciones a estudiar.
 - Opción “optimista”: Aumento del 15% a 40,29€/MWh. El precio del biometano será de 46,33€/MWh.
 - Opción “pesimista”: Disminución del 15% a 40,29€/MWh. El precio del biometano será de 34,25€/MWh.
- Precio del digestato, al igual que con el precio del biometano decidimos situarnos en dos perspectivas, “optimista” o “pesimista”. En el análisis de sensibilidad, una variación del 11,68% provoca que el proyecto sea rentable, por lo que aplicaremos una variación del 20% al precio del digestato para el análisis de escenarios.
 - Opción “optimista”: Aumento del 20% a 40€. El precio del digestato será de 48€.
 - Opción “pesimista”: Disminución del 20% a 40€. El precio del digestato será de 32€.

Las combinaciones posibles de estas 3 variables al mismo tiempo nos proporcionan un total de 20 escenarios reflejados en el árbol de decisión que podemos ver en el anexo I.

Para ver la diferencia entre los distintos escenarios, hemos realizado un mapa de dispersión, en el que podremos ver el efecto de las variables en los diferentes escenarios planteados.

Figura 19: Mapa de dispersión de los escenarios



Fuente: Elaboración propia

Como podemos observar en el gráfico, la mayor parte de los escenarios que hemos planteado nos dan como resultado un VAN negativo, de hecho, tan sólo 4 de los 20 escenarios analizados tienen un VAN positivo. La consideración de ingreso o coste de la variable de la gestión de los residuos resulta determinante en la rentabilidad del proyecto. Tan sólo encontramos escenarios viables cuándo esta variable la consideramos como un ingreso, independientemente de si las demás variables involucradas son la opción optimista o pesimista.

Hemos calculado el VAN medio, que es la línea horizontal azul que vemos en la gráfica, para ver con mejor perspectiva los resultados obtenidos. El valor del VAN medio obtenido se sitúa en -4.876.550€. Como vemos su valor es elevado, lo que nos puede indicar que una inversión en este tipo de proyectos lleva consigo un riesgo elevado. Pero antes de sacar conclusiones, vamos a analizar qué valores toman las variables en el escenario más optimista y pesimista que hemos calculado.

Escenario optimista

El resultado del VAN obtenido en este escenario es de 6.544.830€. Para que suceda este escenario, debemos obtener el valor de todas las variables seleccionadas de la opción más optimista que calculamos anteriormente. Los valores necesarios son:

Tabla 13: Valores escenario optimista

VAN	6.544.830€
Ingreso por gestión de residuos	5,00€
Precio de venta biometano	46,33€
Precio de venta digestato	48,00€

Fuente: Elaboración propia

Este escenario, nos proporciona un VAN positivo, lo que significa que el proyecto es viable económicamente, además, el VAN es relativamente grande, por lo que este escenario proporciona un margen significativo.

Escenario pesimista

El resultado del VAN obtenido en este escenario es de -16.297.930€. Para que suceda este escenario, debemos obtener el valor de todas las variables seleccionadas de la opción más pesimista que calculamos anteriormente. Los valores necesarios son:

Tabla 14: Valores escenario pesimista

VAN	-16.297.930€
Ingreso por gestión de residuos	-5,00€
Precio de venta biometano	34,25€
Precio de venta digestato	32,00€

Fuente: Elaboración propia

Observando los resultados obtenidos y considerando que la variación en las variables tiene la misma probabilidad de suceder, queda claramente reflejado en el análisis, tanto en el mapa de dispersión como en los escenarios analizados, que realizar este proyecto conlleva un riesgo muy elevado, ya que en el mejor de los casos obtendríamos un VAN de 6.544.830€ frente a un VAN de -16.297.930€. Además, como hemos visto el VAN medio de los 20 escenarios es negativo, concretamente de -4.876.550€.

Por lo tanto, tras los análisis realizados podemos concluir que, este proyecto tiene muchas variables sensibles a tener en cuenta y que será necesaria una combinación específica de factores para que este proyecto sea viable económicamente.

7. Conclusiones y limitaciones

Tras la realización del análisis de las fuentes de energía en España, hemos podido conocer el contexto actual de la generación de energía en España, analizando en cada caso

cuáles son los objetivos establecidos para la consecución de un futuro energéticamente sostenible.

Podemos decir que el sector energético español está en plena transformación siguiendo las pautas establecidas en el PNIEC hacia una generación de energía más renovable. Hemos podido comprobar que la generación de energía hace 10 años, aunque en esos momentos ya existía gran preocupación por el cambio climático y sus consecuencias y se estaban aplicando políticas para cambiar la situación, era mayoritariamente generación de energía no renovable. En cambio, la generación actual de energía en España es más renovable que no renovable, lo que provoca que las emisiones de CO₂ se hayan visto muy reducidas en los últimos años, siguiendo la línea marcada por el gobierno en la lucha contra el cambio climático y la transición energética.

Tras el análisis realizado se entiende que España está en el camino correcto hacia la transición energética y a la descarbonización del sector energético, tratando de crear un futuro energético mejor para todos, cumpliendo las medidas y órdenes implantadas desde la UE, en la búsqueda de un futuro de una generación energética sostenible e independiente.

En este trabajo se ha analizado la viabilidad económica-financiera a partir de un proyecto de investigación de la Universidad de Santiago de Compostela llamado AGRORES/AGROMANURE.

En primer lugar, se describió el funcionamiento de una planta de biogás de digestión anaeróbica, desde la recogida de los residuos hasta la obtención de los productos finales tras todo el proceso de digestión. Una vez se analizó su funcionamiento se elaboró un modelo económico-financiero sobre el que hemos realizado el estudio de viabilidad económica.

Para el estudio de viabilidad económica definimos lo que llamamos un escenario base en el que tras explicar sus condiciones y los valores que obtendrían las variables, analizamos la rentabilidad del proyecto. Tras realizar el análisis de rentabilidad del escenario base obtuvimos un VAN corregido de -1.591.510,05€ y una TIRM de 3,51%, esto supone que el escenario base planteado no sería rentable, ya que el VAN corregido presenta un valor negativo y la TIRM se encuentra por debajo de la tasa de descuento establecida que es 5,90%.

Tras el análisis de rentabilidad inicial, decidimos realizar un análisis de sensibilidad para poder conocer con más exactitud qué variables afectaban en mayor medida la rentabilidad del proyecto, pudimos comprobar que las variables que consideramos más relevantes para el

proyecto eran el precio de venta del biometano, el precio de venta del digestato y la consideración de la gestión de residuos bien como un ingreso o bien como un gasto.

A partir de las variables que hemos considerado más críticas, planteamos diferentes combinaciones con las variables lo que nos proporcionó un total de 20 escenarios posibles. Tras observar la dispersión entre los resultados obtenidos, analizamos 2 escenarios, un escenario optimista y otro pesimista.

El escenario optimista nos proporciona unos resultados positivos, ya que obtenemos un VAN de 6.544.830€ y una TIR de un 20%, lo que supondría que la inversión sería viable, sin embargo, observando los resultados del escenario pesimista, obtenemos un VAN negativo de 16.297.930€. Estos resultados reflejan una gran variabilidad entre los dos escenarios. El VAN medio de todos los escenarios es de -4.876.550€, lo que se traduce en que la inversión en este proyecto conlleva un riesgo muy elevado, debido a la diferencia tan grande entre los VAN y que existen hasta 3 variables que podemos considerar críticas para el proyecto, siendo la gestión del residuo la variable más crítica, ya que en ningún escenario en el que esta variable se considera como un coste obtenemos un resultado de la rentabilidad positivo.

Como conclusión del estudio de viabilidad, y en función de lo expuesto anteriormente, podemos afirmar que la opción optimista presenta unos buenos valores para que el proyecto sea viable, sin embargo, viendo la gran variabilidad de los resultados, existe un riesgo muy elevado para este proyecto. En todo caso, si se quisiese llevar a cabo, como punto de partida se debería asegurar la obtención de ingresos por la gestión del residuo, de otra manera el proyecto no será viable.

Las limitaciones en cuanto a la búsqueda y obtención de información las hemos encontrado principalmente en el estudio de prefactibilidad de una planta de biogás, ya que no existen trabajos de investigación o análisis de este tipo sobre plantas de biogás en España, suponiendo una gran inversión de tiempo en este apartado. En cambio, la disponibilidad de datos y acceso a información específica para la realización del análisis del sector energética no ha supuesto una limitación, ya que la información viene principalmente de organismos públicos, por lo que su calidad se presupone buena.

En el estudio de prefactibilidad se creó un modelo económico-financiero para evaluar la viabilidad económica del proyecto, para este modelo se han establecido hipótesis y presunciones de carácter técnico o con alguna variable incierta, por lo que estas presunciones pueden provocar que no se refleje completamente la realidad debido al gran número de incógnitas y a su complejidad.

Aunque destacamos la energía renovable del biogás como una buena alternativa sostenible y que potencia la economía circular, el estudio podría tener limitaciones en la evaluación de los impactos ambientales y sociales que se asocian a la implementación de este tipo de plantas de producción de biogás en diferentes contextos locales.

8. Bibliografía

- AEE. (2023). *Asociación Empresarios Eólica*. Obtenido de <https://aeolica.org/sobre-la-eolica/la-eolica-en-espana/>
- Civieta, Ó. F. (18 de enero de 2021). *Business Insider España*. Obtenido de <https://www.businessinsider.es/como-fija-precio-luz-espana-790815>
- Cores. (2024). *Balance de producción y consumo de gas natural en España*. Madrid. Recuperado el 17 de Junio de 2024, de <https://www.cores.es/sites/default/files/archivos/estadisticas/est-gas-balance-2022.pdf>
- de LLano Paz, F., Iglesias Gómez, G., & Martínez Fernández, P. (2022). *El sector energético gallego: Presente y Futuro*. Consejo Económico y Social de Galicia (CES) y Universidad de Coruña (UDC). Obtenido de https://www.udc.es/export/sites/udc/biblioteca.economia/_galeria_down/O-sector-energetico-en-Galicia_Presente-e-futuro_UDC-CES.pdf_2063069239.pdf
- Energía y sociedad. (Diciembre de 2023). *Energía y sociedad*. Obtenido de <https://www.energiaysociedad.es/pdf/documentos/manuales-energia/manual-electricidad.pdf>
- EPE. (29 de Junio de 2022). *El Periódico de España*. Obtenido de <https://www.epe.es/es/activos/20220629/importa-gas-espana-13354317>
- Eurostat. (enero de 2024). *Eurostat*. Obtenido de https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG_IND_ID__custom_5116129/bookmark/table?lang=en&bookmarkId=86b24fe7-f730-4f52-ab76-5389dcaa00ce
- IDAE. (2022). *Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía*. Obtenido de <https://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/uso-termico/biogas>
- IDAE. (2023). *Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía*. Obtenido de <https://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/uso-electrico/eolica/eolica-marina/eolica-marina-y-energias-del-mar>
- INE. (Mayo de 2024). Obtenido de <https://www.ine.es/jaxi/Tabla.htm?tpx=51175&L=0>
- Instituto Energético de Galicia. (2024). *El sector energético gallego y los objetivos a 2030*. Obtenido de https://www.inega.gal/sites/default/files/publicacions/Obxectivos_Galicia_2030.pdf
- Instituto Gallego de Energía. (2023). *Balance energético de Galicia 2021*. Instituto Energético de Galicia. Obtenido de <https://www.inega.gal/es/publicaciones/energia-en-galicia/balance-energetico-de-galicia>
- Merino, Á. (22 de Septiembre de 2022). *El Orden Mundial*. Obtenido de EOM: <https://elordenmundial.com/mapas-y-graficos/evolucion-energia-renovable-espana/>
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (Septiembre de 2023). *Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación*. Obtenido de

https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/sanidad-animal-higiene-ganadera/06pbiogas_tcm30-442924.pdf

MITECO. (Septiembre de 2015). *Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico*. Obtenido de <https://www.miteco.gob.es/es/ceneam/carpeta-informativa-del-ceneam/novedades/onu-agenda2030-desarrollo-sostenible.html>

MITECO. (2020). *PLAN NACIONAL INTEGRADO DE ENERGÍA Y CLIMA 2021-2030*. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Obtenido de <https://www.miteco.gob.es/es/prensa/pniec.html>

MITECO. (22 de Marzo de 2022). *MITECO*. Obtenido de <https://planderecuperacion.gob.es/noticias/el-gobierno-aprueba-la-hoja-de-ruta-del-biogas>

MITECO. (2023). *Balance Energético de España*. Madrid. Obtenido de https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/energia/files-1/balances/Balances/Documents/balance-20231218/Balance%20Energetico%20Espa%C3%B1a%202021%20y%202022_v0.pdf

MITECO. (2023). *Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico*. Obtenido de <https://www.miteco.gob.es/es/energia/nuclear/centrales/espana.html>

Naciones Unidas. (15 de Septiembre de 2015). *Naciones Unidas*. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/energy/>

Operador del Mercado Ibérico de la Energía. (2023). *OMIE*. Obtenido de https://www.omie.es/sites/default/files/inline-files/mercado_diario.pdf

Precio de la luz. (enero de 2024). *Precio de la luz*. Obtenido de <https://preciodelaluz.com/precio-por-meses-total>

Red Electrica Española. (2024). *Red Eléctrica Española*. Obtenido de <https://www.ree.es/es/datos/balance/balance-electrico>

Sánchez, R. S. (8 de julio de 2022). *ESTUDIO ENERGÉTICO Y DE VIABILIDAD*. Obtenido de <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/25418/SSR.pdf?sequence=1>

Smallbiogas. (2024). *Smallbiogas*. Obtenido de <https://smallbiogas.biogas3.eu/Acceso.aspx>

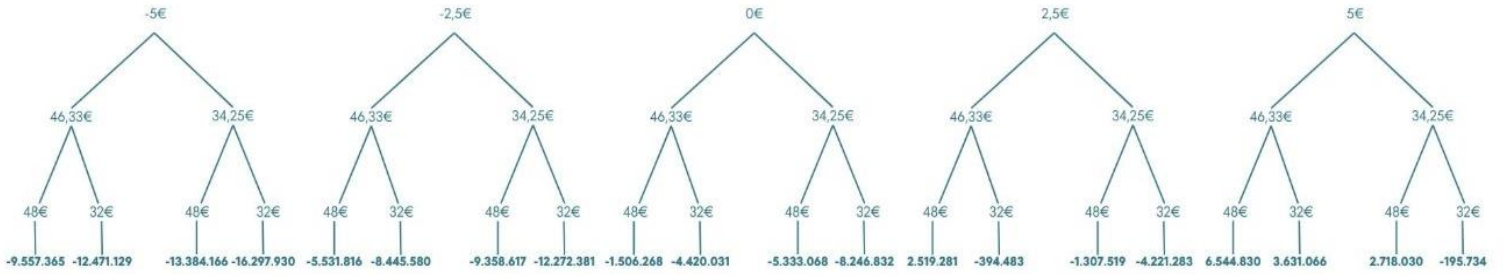
Statista. (Mayo de 2023). *Statista*. Obtenido de <https://es.statista.com/estadisticas/993973/volumen-de-gas-natural-y-gas-natural-licuado-importado-desde-espana-por-paises/>

Valdemingómez, D. G. (2023). *Ayuntamiento de Madrid*. Obtenido de https://www.madrid.es/UnidadWeb/NxC/Valdemingomez2020/RC_Valdemingomez/Publicaciones/MemoriaActividades2023.pdf

ANEXOS

Anexo 1: Árbol de decisión de escenarios

Figura 20: Árbol de escenarios



Fuente: Elaboración propia

Anexo 2: Modelo económico-financiero

Figura 21: Datos modelo económico-financiero

UGM	5545,88	Animales	01 AO42		
Producción purín/UGM/año	26,00	m3/año			
Producción de purín/año	144.192,88	m3/año			
Producción de purín/día	395,05	m3/día			
% Purín recogido/total	50,00%				
Purín disponible/año	72.096,44	m3/año			
Purín disponible/día	197,52	m3/día			
Días de funcionamiento	347	días			
Dieta 1					
Purín	50%		72.096,44		
Lodo láctea	50%		72.096,44		
Total			144.192,88		
Dieta 2					
Purín	50%		72.096,44		
Lodo láctea	35%		50.467,51		
Matadero vacuno	15%		21.628,93		
Total			144.192,88		
Características físico-químicas del biogás					
Materia seca (MS %)	11,68%				
Sólidos volátiles	75,78%				
Biodegradabilidad					
Producción CH4/SV	203	Nm3/t SV			
% CH4	68,00%				
N (kg N/t)					
N-NH4 (kg N/t)					
Ratio C/N					
Producción específica biogás por tonelada de SV	298,53	m3 biogás/t SV			
Producción de metano por tonelada de residuo	17,96774112	m3 CH4/t residuo			
Producción de biogás por tonelada de residuo	26,42	m3 biogás/t residuo			
Poder calorífico biometano	11,06	kWh/m3CH4			
Poder calorífico biometano	11,98	kWh/m3CH4			
Cantidad de digestato obtenido					
Densidad de biogás	1,2	kg/m3			
Tanque de alimentación					
Densidad de residuo	0,8	t/m3			
Ahorro de emisiones CO2 equivalente (a + b ó c)					
a. Ahorro de evitar que purín emita a atmósfera	Factor ahorro emisiones/kWh año	278	g CO2 /kWh		
b. Ahorro de viviendas	182	g CO2 /kWh	Viviendas	9.922,00	kWh/año
c. Ahorro en autobuses	0,384	t CO2 autobus/día	Autobuses	82,08	m3 biometano día
Coste total/hora tractor	29,13				
Cisterna purín	22,00	m3			
Vel max	20	km/h			
Tiempo carga	15	minutos			
Tiempo descarga	15	minutos			
Superficie Ha	1.768,41	Hectáreas			

Fuente: Elaboración propia

Figura 22: Producción planta de biogás

Biometano					
m3 biogas/h	434,93				
% CH4	68,00%				
	295,76 m3 biometano/h				
Eficiencia del sistema	99%				
Sistema upgrading	292,80 m3 biometano/h				
Días operativos	347				
Cantidad de biometano obtenido	2.438.423,32 m3 biometano/año				
	7.027,16 m3 biometano/día				
PCS (Poder calorífico superior)	11,06 kWh/m3 CH4				
Energía obtenida	26.968.961,90 kWh/año	Viviendas	9.922,00 kWh/año	2.718,10 Viviendas	
	26.968,96 MWh/año				
	26,9689619 GWh/año	Autobuses	82,08 m3 biometano día	86 Autobuses	

Digestato como fertilizante					
Kg digestato/día	382.522,86				
Cantidad materia seca	12%				
Kg fertilizante/día	44.678,67				
	15.503.498,53 kg/año				
Producción anual	15.503,50 t/año				

Ahorro de emisiones CO2 equivalente (a + b ó c)					
	Factor ahorro emisiones/kWh año				
a. Ahorro de evitar que purín emita a atmósfera	278 g CO2 /kWh	7.497,37 t CO2/año			
b. Ahorro de viviendas	182 g CO2 /kWh	5.316,64 t CO2/año	a+b	12.814,01 t CO2/año	
c. Ahorro en autobuses	0,384 t CO2 autobus/d	11.999,59 t CO2/año	a+c	19.496,96 t CO2/año	

Fuente: Elaboración propia

Figura 23: Costes planta de biogás

Costes producción biogás			
Coste apróx producción biogás	0,29 €/Nm3		40 €/MWh
Producción biogás	10.438,44 m3 biogas/día		
Días operativos/año	347 días		
	3.622.138,02 m3 biogás/año		
Costes totales producción	100%		1.139.849,18
Costes fijos	35%		398.947,21
<i>Coste de personal</i>	70%	279.263,05	
<i>Otros costes</i>	30%	119.684,16	
Costes variables I	65%		740.901,97
<i>Coste mantenimiento de equipos</i>	35%	259.315,69	
<i>Costes energía eléctrica</i>	30%	222.270,59	
<i>Coste gestión rechazos</i>	35%	259.315,69	
Costes variables II			89.429,16
<i>Coste de purín /T</i>	0	0,00	
<i>Coste transporte purín/T</i>	1,240410156	89.429,16	
Costes asociados			217.328,28
<i>Acondicionamiento biogás €/m3</i>	0,018	65198,48444	
<i>Producción de digestato €/m3</i>	0,030	108664,1407	
<i>Producción de rechazo €/m3</i>	0,012	43465,65629	
COSTE TOTAL BIOGAS			1.357.177,46
Costes generación y gestión biometano			
Coste apróx generación y gestión	11 €/MWh		
Producción biometano	26.968,96 MWh/año		
Coste anual	296.658,58 €/año		
Costes totales producción	100%		296.658,58
Costes fijos	30%		88.997,57
<i>Coste de personal</i>	60%	53.398,54	
<i>Mantenimiento equipo</i>	20%	17.799,51	
<i>Energía eléctrica</i>	20%	17.799,51	
Costes variables	70%		207.661,01
<i>Costes energía eléctrica</i>	42%	87.217,62	
<i>Coste mantenimiento de equipos</i>	25%	51.915,25	
<i>Suministros y consumibles</i>	23%	47.762,03	
<i>Coste gestión rechazos</i>	10%	20.766,10	
COSTE TOTAL BIOMETANO			296.658,58
COSTE TOTAL ANUAL			1.653.836,05

Fuente: Elaboración propia

Figura 24: Ingresos planta de biogás

Venta de digestato

Precio tonelada pellet	40 €/t	Documento IDEA
Producción digestato	15.503,50 t/año	
Ingresos por digestato	620.139,94 €/año	

Venta biometano

Opción 1: Inyección en la red Gas Natural	1.086.579,47
Cantidad de biometano	26.968,96 Mwh
Precio venta inyección	40,29 €/MWh
Opción 2: Combustible uso vehículos	1.406.970,25
Cantidad de biometano	2.438.423,32 m3 biometano/año
Precio venta uso vehículos	0,577 €/m3

Ingreso por recogida y gestión de residuo

Tonelada por viaje de tractor	15 t/viaje
Precio gasoil tractores	1,64 €/litro
Consumo tractores	15 l/100 km
Distancia media recorrido regar	20 km/viaje
Media de horas empleadas para regar	5 h/viaje
Precio mano de obra	12 €/hora
Amortización tractor	0,5 €/viaje
Consumo gasoil por viaje	3 l/viaje
Coste gasoil por viaje	4,92 €/viaje
Coste mano de obra por viaje	60 €/viaje
Amortización tractor	0,5 €/viaje
	65,42 €/viaje
	4,36 €/t
Tarifa por recogida (por comparación)	2,5 €/t
Total residuos	137.082 t/año
Ingresos por gestión residuos	342.705,00 €/año
Total ingresos Opción 1	2.049.424,41 €/año
Total Ingresos Opción 2	2.369.815,19 €/año

Fuente: Elaboración propia

Figura 25: Outputs planta de biogás

Cantidad de residuo tratado diariamente

	Nº animales	Residuo por animal/año m3	Residuo generado m3/día	Residuo generado m3/año	T/m3	Residuo generado T/año
Unidades de ganado mayor	5.545,88	26,00	395,05	144.193	1	144.193
Purín utilizable			197,52			
Dieta 1						
Purines		50%	197,52			
Lodo láctea		35%	138,27			
Matadero de vacuno		15%	59,26			
Días funcionamiento		347	395,05	137.082		

Cantidad de biogás obtenido	
Toneladas residuo/día	395,05
m3 Biogas por tonelada de residuo	26,42
	10.438,44 m3 biogas/día
	434,93 m3 biogas/h

3622138,02

Cantidad de digestato obtenido	
Densidad de biogas	1,2 kg/m3
kg biogas/día	12.526,13 kg/día
a. Masa residuo/día	395.048,99 kg/día
b. Masa de biogás/día	12.526,13 kg/día
Masa digestato (a-b)	382.522,86 kg/día

Tanque de alimentación	
Densidad de residuo	0,8 t/m3
Masa residuo/día	395,05 t/día
Dimensión mínima	493,81 m3/día
Dimensión 2 días +20% seguridad	1.185,15 m3

Fuente: Elaboración propia