



**Universidad
Europea**

Trabajo Fin de Máster

**Estudio de viabilidad de una planta agrovoltaica
sinérgica con generación de biomasa**

Alfonso Morales Pérez

Iván Berasáin Huarte

Ingrid Juliette Oviedo M.

Juan Damián Ruiz M.

Pablo Osca Guadalajara

Tutor: Juan Carlos de Haro Sánchez

Máster Universitario en Energías Renovables

Curso 2023-2024

RESUMEN

Durante el estudio, se realizará un análisis de la viabilidad técnica y económica de la instalación de un sistema fotovoltaico y de una planta de biomasa, en el mismo terreno que una plantación de viñedos ya existente. La parcela seleccionada para el proyecto se encuentra aproximadamente a 18 kilómetros en dirección norte del municipio de Valdepeñas, una localidad situada en la provincia de Ciudad Real, en la comunidad autónoma de Castilla - La Mancha, España. En primer lugar, se analizarán las características, las dimensiones, el consumo eléctrico y el potencial energético de dicho emplazamiento. A continuación, se realizará un diseño preliminar que integre el sistema fotovoltaico sobre las tierras agrícolas y una planta de biomasa a partir de los residuos generados por los viñedos. Esto incluirá el análisis de los recursos naturales disponibles, como cultivos y residuos agrícolas, que puedan ser utilizados para la producción de biomasa. El predimensionamiento demostrará la viabilidad técnica del proyecto y permitirá obtener datos fundamentales para el posterior análisis económico. El análisis financiero evaluará los costes de inversión, operación, mantenimiento y estimaciones de ingresos, calculando los parámetros económicos. Esta sección concluye que se trata de un proyecto económicamente atractivo para el promotor y que la integración de fotovoltaica con biomasa mejora considerablemente los resultados económicos del estudio previo.

ABSTRACT

During the study, a technical and economic feasibility analysis will be conducted for a synergistic agrovoltaic plant with biomass generation on land covered with vineyards. The plot selected for the project is located approximately 18 kilometers north of the municipality of Valdepeñas, a town in the province of Ciudad Real, in the autonomous community of Castilla - La Mancha, Spain. First of all, the characteristics, dimensions, electricity consumption, and energy potential of the site will be analyzed. Subsequently, a preliminary design will be carried out that integrates the photovoltaic system over agricultural land and a biomass plant using the waste generated by the vineyards. This will include an analysis of the available natural resources, such as crops and agricultural waste, that can be used for biomass production. The preliminary sizing will demonstrate the technical feasibility of the project and provide essential data for the subsequent economic analysis. The financial analysis will assess investment, operation, and maintenance costs, as well as revenue estimates, calculating the economic parameters. This section concludes that the project is economically attractive and that the integration of photovoltaics with biomass significantly improves the economic outcomes of the preliminary study.

PALABRAS CLAVE

- Planta Agrovoltaica
- Sistema fotovoltaico
- Biomasa
- Cultivos agrícolas

KEYWORDS

- Agrivoltaic plant
- Photovoltaic System
- Biomass
- Agricultural Crops

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN A LA AGROVOLTAICA	8
1.1 Definición de agrovoltaica	8
1.2 Beneficios de la agrovoltaica	8
1.4 Situación de agrovoltaica en España	10
2. OBJETIVOS	11
2.1. Objetivo General	11
2.2. Objetivos Específicos	11
3. ALCANCE	11
4. METODOLOGÍA	12
5. ANTECEDENTES	15
6. NORMATIVA	17
6.1 Legislación Nacional	17
6.2 Legislación Regional (Castilla-La Mancha)	17
6.3. Legislación Municipal (Valdepeñas)	17
7. ESTUDIO PREVIO	18
7.1 Emplazamiento	18
7.2 Características de la parcela	19
7.3 Situación inicial	21
8. CONSUMO ELÉCTRICO	23
8.1 Consumo eléctrico del riego	23
8.2 Consumo eléctrico tractor agrícola	24
8.3 Consumo eléctrico de todoterreno.	24
8.4 Consumo eléctrico de la caseta	26
8.5 Maquinaria eléctrica	26
8.6 Consumo eléctrico total	27
9. GENERACIÓN ELÉCTRICA	28
9.1 Sistema Fotovoltaico	28
9.2 Generación a partir de biomasa	29
9.3 Generación de la planta gasificadora	31
10. INVERSIÓN INICIAL	33
11. COSTES ANUALES	36
11.1 Mantenimiento del viñedo	36
11.2 Coste de personal	37
11.2.1 Estructura de Personal y Salarios Brutos Anuales Estimados	37
11.2.2 Coste Anual Estimado del Personal Sin Cobertura Adicional	38
11.2.3 Cobertura para Absentismo y Vacaciones	38
11.2.4 Coste Total Ajustado con Cobertura	38

11.3 Costes de operación y mantenimiento de la planta fotovoltaica	39
11.4 Costes de instalación de biomasa	40
12. BENEFICIOS ECONÓMICOS	41
12.1 Reducción consumo eléctrico	41
12.2 Ahorro en el combustible de maquinaria	41
12.3 Ingresos del viñedo	41
12.4 Ingresos venta de energía	42
13. ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA	42
13.1 Estimación de ingresos y ahorros	42
13.2 Flujos de caja proyectado	43
13.3 Valor Actual Neto (VAN)	45
13.4 Tasa interna de rentabilidad (TIR)	46
13.5 PRI (Periodo de Recuperación de la Inversión)	48
14. CONCLUSIONES	49
15. ANEXOS	50
16. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Consumo eléctrico.....	24
Tabla 2. Consumo eléctrico tractor agrícola.....	24
Tabla 3. Consumo eléctrico de todoterreno.....	26
Tabla 4. Consumo eléctrico de la caseta.....	26
Tabla 5. Consumo eléctrico total.....	28
Tabla 6. Datos de generación eléctrica a partir de instalación fotovoltaica.....	29
Tabla 7. Coste que supondría la instalación fotovoltaica.....	35
Tabla 8. Costos asociados a permisos, estudios normativos y regulaciones.....	36
Tabla 9. Costos del proyecto para planta de gasificación.....	36
Tabla 10. Inversión inicial en maquinaria eléctrica.....	37
Tabla 11. Costos de mantenimiento del viñedo.....	38
Tabla 12. Costos asociados al personal requerido.....	41
Tabla 13. Costos anuales operativos de la planta fotovoltaica.....	41
Tabla 14. OPEX anual de transporte a Biomasa y Planta gasificadora.....	42
Tabla 15. Producción del viñedo y los ingresos.....	43
Tabla 16. Ingresos y ahorros anuales del proyecto.....	44
Tabla 17. Flujos de caja.....	45
Tabla 18. Inversión inicial del proyecto CAPEX.....	46
Tabla 19. Inversión inicial del proyecto CAPEX.....	47
Tabla 20. Calculo tasa interna de rentabilidad (TIR).....	48
Tabla 21. Comparativa de los valores económicos entre ambos proyectos.....	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.1 Recurso solar de Europa.....	9
Fig 2. Superficie agrícola.....	10
Fig 3. Ubicación geográfica parcela seleccionada.....	19
Fig 4. Consumo eléctrico total	28
Fig 5. Datos de generación eléctrica a partir de instalación fotovoltaica.....	29
Fig 6. PRI (Periodo de Recuperación de la Inversión)	50

1. INTRODUCCIÓN A LA AGROVOLTAICA

1.1 Definición de agrovoltáica

La energía agrovoltáica es una innovadora solución que combina la producción agrícola con la generación de energía solar. Este enfoque permite la instalación de paneles solares en terrenos agrícolas, lo que maximiza el uso del espacio y proporciona beneficios tanto para la agricultura como para la producción de energía. Al utilizar la misma área para cultivar alimentos y generar electricidad, la agrovoltáica contribuye a la sostenibilidad, mejora la eficiencia del uso de la tierra y ayuda a mitigar el impacto del cambio climático.

1.2 Beneficios de la agrovoltáica

A continuación, se enumeran los beneficios más relevantes de una instalación agrovoltáica.

Impacto Ambiental

La implementación de sistemas agrovoltáicos puede contribuir a la mitigación del cambio climático al reducir las emisiones de CO₂ mediante la generación de energía renovable. Además, la biodiversidad y la salud del suelo pueden beneficiarse de la reducción de la erosión y la mejora del microclima.

Reducción de riego

En Valdepeñas, la precipitación anual es escasa, lo que hace que las viñas tengan dependencia en gran medida de sistemas de riego para suplir sus necesidades hídricas. Además, las altas temperaturas aumentan la tasa de evaporación, lo que puede resultar en la pérdida significativa de agua.

Los viñedos en esta región suelen utilizar sistemas de riego por goteo, que son altamente eficientes y permiten una distribución uniforme del agua directamente a las raíces de las plantas. Esto es crucial para mantener un nivel adecuado de humedad en el suelo y prevenir el estrés hídrico.

El sombreado proporcionado por una planta agrovoltáica puede reducir la evaporación, mejorando la eficiencia del riego y manteniendo un nivel de humedad más estable en el suelo.

Reducción de exposición excesiva a la radiación solar

Valdepeñas se caracteriza por tener un clima continental con veranos extremadamente calurosos e inviernos fríos. Las temperaturas en verano pueden superar los 40°C, lo que genera un ambiente de estrés térmico para las vides. Un exceso de sol puede causar quemaduras en las uvas, reducir la acidez y afectar negativamente los aromas y sabores del vino. La implementación de sistemas agrovoltáicos puede ayudar a mitigar este problema al proporcionar un sombreado parcial que protege a las uvas de la radiación solar intensa, reduciendo el estrés térmico y mejorando la salud general de las plantas.

Diversificación de los ingresos del agricultor

El agricultor recibirá un ingreso extra a través del alquiler de parte de su terreno. Esto se suma a los ingresos obtenidos de los cultivos agrícolas.

En otros casos, el propio agricultor será el promotor de la parte fotovoltaica y, por tanto, recibirá el ingreso de la venta de energía.

1.3 Desafíos de la agrovoltaica

En este apartado se describen brevemente los retos que deberá superar la agrovoltaica para consolidarse como una actividad ampliamente implementada en el sector agrícola y energético.

Compatibilidad entre cultivos y paneles solares

No todos los cultivos son adecuados para convivir con paneles solares, ya que algunos requieren más luz o espacio. Es un reto encontrar cultivos que puedan crecer bajo sombra parcial sin afectar negativamente su rendimiento.

Costos iniciales elevados

La implementación de sistemas agrovoltaicos puede ser costosa debido a la inversión inicial en infraestructuras como los paneles solares, las estructuras elevadas y las instalaciones necesarias para optimizar tanto la producción agrícola como la energética.

Dificultades en la instalación y mantenimiento

El diseño e instalación de paneles sobre terrenos agrícolas requieren un enfoque cuidadoso para no interferir con las actividades de siembra y cosecha. Además, el mantenimiento de los paneles puede ser más complicado que en instalaciones solares tradicionales.

Impactos en el microclima y la biodiversidad

La sombra creada por los paneles puede alterar el microclima local (temperatura, humedad, etc.) y afectar la biodiversidad del área. Aún es necesario estudiar los impactos a largo plazo de estos cambios en diferentes ecosistemas agrícolas.

Regulaciones y normativas insuficientes

En España, no existe ninguna normativa que defina el concepto de agrovoltaica y sus requisitos. Otros países europeos como Alemania [1], Francia [2] e Italia [3] ya incluyen regulaciones sobre el uso del suelo, incentivos para energías renovables y permisos de construcción, lo que facilita al promotor la ejecución del proyecto fotovoltaico.

Aceptación social y formación de agricultores

El éxito de la agrovoltaica depende en gran medida de la aceptación por parte de los agricultores y de las comunidades rurales. A menudo, la resistencia al cambio, el desconocimiento sobre los beneficios a largo plazo y la falta de capacitación en nuevas tecnologías pueden ser barreras importantes para su adopción. Es fundamental implementar programas de formación y sensibilización para que los agricultores comprendan cómo la agrovoltaica puede mejorar su rentabilidad y contribuir a la sostenibilidad ambiental.

1.4 Situación de agrovoltaica en España

En España se dan las condiciones óptimas para el desarrollo de esta tecnología. Por un lado, España es un país con elevado recurso solar y, además, gran parte de su superficie consiste en cultivos.

Recurso solar

Como se observa en la figura 1, España es uno de los países con mayor recurso solar de Europa, con un promedio de entre 1.500 y 3.000 horas de sol al año y con una radiación solar horizontal que oscila entre 1.200 kWh/m² y 2.000 kWh/m² al año. Todo ello la convierte en un lugar ideal para el desarrollo de proyectos de energía solar.

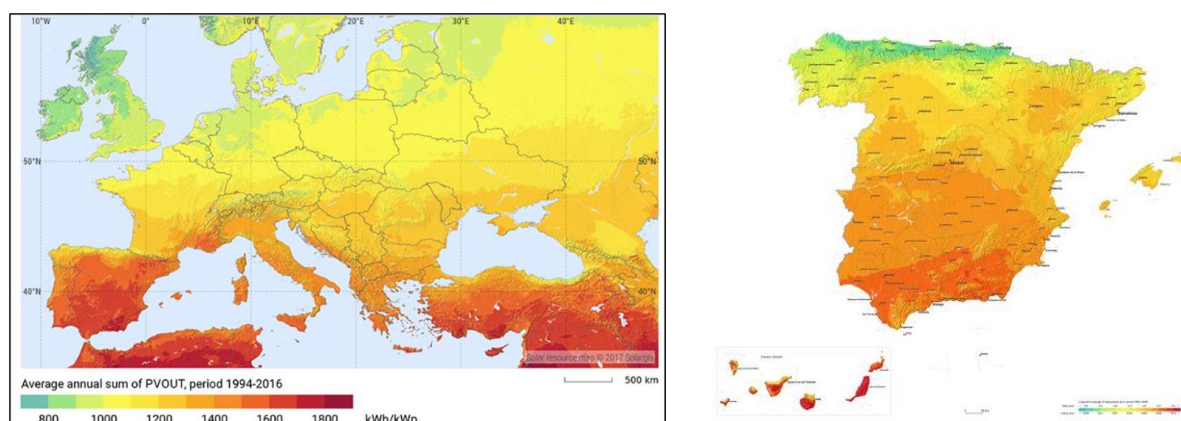


Fig.1 Recurso solar de Europa

Terreno agrícola

Según el documento de 'Sinergia entre la Actividad Agropecuaria y la Fotovoltaica: Promoviendo la Bioagrovoltaica' [4], redactado por la Unión Española Fotovoltaica, España cuenta con más de 23,75 millones de hectáreas agrícolas, casi el 50% del territorio nacional. Tal y como se muestra en la figura 2, En Europa, sólo está superada por Francia con 28,7 millones de hectáreas (Mha), mientras que otros países europeos como Alemania (15,5 Mha), Italia (12,8 Mha), Polonia (14,4 Mha) tiene menor superficie agrícola.

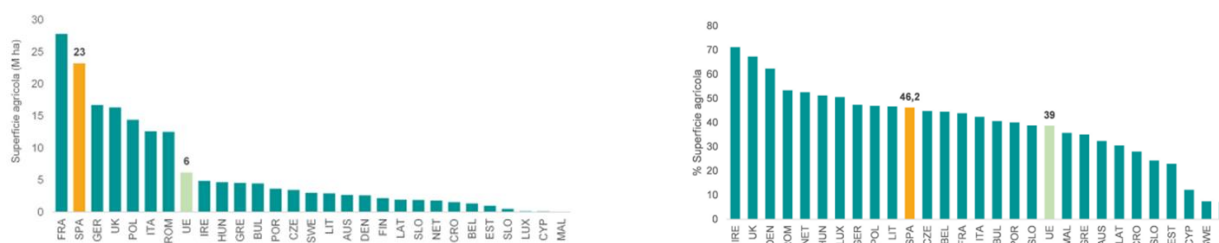


Fig 2. Superficie agrícola

Estas condiciones agrícolas y de recurso solar convierten a España en un país óptimo para el desarrollo de instalaciones agrovoltaicas.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

El objetivo general de este trabajo fin de máster es evaluar la viabilidad técnica y económica de una planta agrovoltaica que integre la generación energética a partir de biomasa.

2.2. Objetivos Específicos

Para alcanzar dicho objetivo principal, se plantean los siguientes objetivos específicos.

Analizar el potencial solar y de biomasa de la región. Estudiar las características climáticas, la irradiación solar y la disponibilidad de residuos de poda para determinar el rendimiento esperado de la planta.

Diseñar un sistema agrovoltaico. Proponer un diseño que optimice la disposición de los paneles fotovoltaicos y los cultivos, maximizando la producción de energía y agrícola en el mismo terreno.

Evaluar las características de los residuos de poda. Identificar y caracterizar los residuos generados en la región, incluyendo cantidad, tipo y calidad, para su utilización en la generación de biomasa.

Realizar un análisis económico detallado. Calcular costos de inversión, operación y mantenimiento, así como proyecciones de ingresos por la venta de energía eléctrica y productos agrícolas, para establecer la rentabilidad del proyecto.

Establecer un marco normativo y regulatorio. Investigar las regulaciones locales y nacionales relevantes que afectan a los proyectos agrovoltaicos y de biomasa, asegurando el cumplimiento normativo del proyecto.

Evaluar el impacto ambiental. Analizar los efectos potenciales de la planta sobre la biodiversidad, uso del suelo, emisiones de gases de efecto invernadero y otros factores ambientales relevantes.

Promover la participación comunitaria. Diseñar estrategias de comunicación y participación para involucrar a los actores locales en el desarrollo del proyecto, considerando sus inquietudes y beneficios potenciales.

Identificar barreras y oportunidades. Evaluar posibles obstáculos en la implementación del proyecto, así como oportunidades que pueden potenciar su éxito y sostenibilidad.

3. ALCANCE

El alcance de este proyecto de estudio de viabilidad para una planta agrovoltaica sinérgica con generación de biomasa abarca un análisis integral de las oportunidades y desafíos asociados con la integración de estas dos fuentes de energía renovable en un entorno agrícola. El estudio comenzará con una evaluación detallada del potencial energético del sitio, considerando tanto la capacidad de captación solar para la generación fotovoltaica como la disponibilidad y eficiencia de la biomasa como fuente de energía complementaria. Esto incluye el análisis de recursos naturales disponibles, como cultivos y residuos agrícolas, que puedan ser utilizados para la producción de biomasa. En la fase técnica, el proyecto analizará las tecnologías más adecuadas para combinar la energía solar y la biomasa en un solo sistema eficiente. Se desarrollará un diseño preliminar que integre paneles solares sobre tierras agrícolas con sistemas de generación de energía a partir de biomasa. Este diseño considerará la optimización del uso del espacio, la minimización de interferencias en la producción agrícola, y la mejora de la eficiencia energética general del sistema. Además, se evaluarán las necesidades de infraestructura, como conexiones a la red eléctrica, almacenamiento de energía, y sistemas de manejo de residuos.

El análisis económico y financiero será un componente clave del alcance del proyecto, evaluando los costos de inversión, operación y mantenimiento, así como las proyecciones de ingresos por la venta de energía y productos agrícolas. También se explorarán fuentes de financiamiento, incentivos fiscales y posibles asociaciones con entidades privadas o gubernamentales. Desde el punto de vista ambiental, el proyecto evaluará los beneficios potenciales en términos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y mejoras en la sostenibilidad del uso del suelo. Se analizará cómo la integración de agrovoltaica y biomasa puede contribuir a la conservación de la biodiversidad, la mejora del suelo y la eficiencia en el uso de recursos hídricos. Además, se identificarán y evaluarán posibles impactos negativos, con el objetivo de desarrollar estrategias de mitigación que aseguren la sostenibilidad del proyecto a largo plazo.

4. METODOLOGÍA

Esta metodología está estructurada en fases que abarcan desde la planificación inicial hasta el análisis final y la presentación de resultados.

Fase 1: Definición del Proyecto

1. **Objetivos del Estudio**
 - Definir los objetivos principales y específicos del estudio de viabilidad.
 - Establecer el alcance y las limitaciones del estudio.
2. **Selección del Sitio**
 - Identificar y seleccionar una ubicación adecuada para la planta agrovoltaica.
 - Considerar factores como disponibilidad de recursos solares, acceso a mercados, y proximidad a áreas agrícolas para biomasa.

Fase 2: Revisión de Literatura

1. **Investigación de Antecedentes**
 - Revisión de estudios previos sobre proyectos agrovoltaicos y generación de biomasa.
 - Recopilación de información sobre normativas y políticas energéticas relevantes.
2. **Establecimiento de Benchmarking**
 - Comparar el proyecto con otras iniciativas similares para identificar mejores prácticas y lecciones aprendidas.

Fase 3: Evaluación del Recurso Solar

1. **Recolección de Datos Climáticos**
 - Obtener datos históricos de irradiación solar y climáticos de la región.
 - Utilizar software de modelado solar para simular la producción de energía de los paneles fotovoltaicos.
2. **Análisis de Viabilidad Técnica**
 - Evaluar diferentes configuraciones de paneles solares que maximicen la producción energética y la viabilidad agrícola.

Fase 4: Análisis Agronómico y de Biomasa

1. **Selección de Cultivo**
 - Identificación del cultivo que se adapte bien a las condiciones agrovoltaicas.
 - Evaluar la sinergia del cultivo y la producción de energía solar.
 2. **Evaluación de Residuos Agrícolas**
 - Cuantificar los residuos agrícolas disponibles en la región para su uso en la generación de biomasa.
-

- Realizar un análisis de la composición y el poder calorífico de las materias primas.

Fase 5: Diseño del Sistema

1. Diseño Técnico de la Planta

- Elaborar un diseño preliminar del sistema agrovoltaico, teniendo en cuenta la disposición de los paneles, la infraestructura de riego, y la logística de cultivo.
- Concepción de la planta de generación de biomasa, incluyendo la tecnología a utilizar (gasificación, digestión anaeróbica, etc.).

2. Simulación y Modelado

- Simular el funcionamiento del sistema integrado, analizando la interacción entre los componentes agrovoltaicos y de biomasa.

Fase 6: Análisis Económico

1. Estimación de Costos

- Calcular los costos de inversión inicial, operación y mantenimiento para ambos sistemas (agrovoltaico y de biomasa).
- Previsión de costos asociados a permisos y estudios normativos.

2. Proyecciones de Ingresos

- Estimar ingresos por venta de energía y productos agrícolas.
- Evaluar opciones de financiamiento y subsidios disponibles.

3. Análisis de Rentabilidad

- Realizar un análisis de viabilidad financiera utilizando indicadores como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el período de recuperación de la inversión.

Fase 7: Evaluación de Impacto Ambiental

1. Análisis de Impactos Potenciales

- Identificar y evaluar los impactos ambientales potenciales (positivos y negativos) del proyecto durante su ciclo de vida.
- Propuesta de estrategias de mitigación para impactos negativos.

2. Cumplimiento Normativo

- Asegurar que el proyecto cumple con la normativa ambiental vigente y obtener los permisos necesarios.

Fase 8: Análisis de Riesgos

1. Identificación de Riesgos

- Catalogar los riesgos técnicos, económicos y ambientales asociados al proyecto.

2. Desarrollo de Estrategias de Gestión

- Proponer medidas de mitigación y contingencia para cada riesgo identificado.

Fase 9: Participación y Aceptación Social

1. Plan de Comunicación

- Diseñar un plan de participación y comunicación con las partes interesadas, incluyendo agricultores locales, autoridades y comunidades cercanas.

2. Evaluación de Percepción

- Realizar encuestas o entrevistas para entender la percepción de la comunidad sobre el proyecto y recopilar sugerencias.

Fase 10: Elaboración del Informe Final**1. Estructura del Informe**

- Compilar todos los resultados y análisis en un informe estructurado que incluya introducción, métodos, resultados, análisis, y conclusiones.

2. Presentación de Resultados

- Preparar una presentación visual para comunicar los hallazgos del estudio a las partes interesadas.

5. ANTECEDENTES

Las explotaciones agrovoltaicas en Valdepeñas (Ciudad Real) y alrededores, representan una innovadora combinación de producción agrícola y generación de energía solar. Estas iniciativas están ganando popularidad debido a sus múltiples beneficios económicos y ambientales. A continuación, se presenta un análisis detallado de las iniciativas actuales y pasadas en esta área, con ejemplos específicos, datos técnicos, beneficios económicos, rendimientos y proyectos desechados, rescatados de asociaciones, como ASAJA (Asociación Agraria de Jóvenes Agricultores, la Denominación de Origen del vino de Valdepeñas o la Universidad de Castilla- La Mancha.

La Cooperativa Vinícola de Valdepeñas ha sido pionera en la implementación de sistemas agrovoltaicos, combinando plantaciones de viñedo intensivos en espaldera con paneles solares. Esta cooperativa ha instalado paneles solares sobre viñedos, aprovechando el espacio entre las filas de vides. Con una capacidad instalada de 500 kW y una superficie cubierta de 2 hectáreas, utilizan paneles policristalinos con una eficiencia del 18%. La energía generada se utiliza tanto para el consumo propio como para la venta a la red eléctrica. Los beneficios económicos incluyen una reducción del 40% en la factura eléctrica anual y la generación de aproximadamente 50.000 euros anuales por la venta de excedentes de energía. En términos de rendimiento, la producción anual es de 750 MWh, y se ha observado un incremento del 10% en la calidad de las uvas debido a la sombra parcial proporcionada por los paneles.

Otro ejemplo es el Proyecto Agrovoltaico de Bodegas Real, que ha implementado un sistema agrovoltaico en sus viñedos, combinando la producción de vino con la generación de energía solar. Con una capacidad instalada de 1 MW y una superficie cubierta de 4 hectáreas, utilizan paneles monocristalinos con una eficiencia del 20%. Los beneficios económicos incluyen una reducción del 50% en costos energéticos y la generación de 100.000 euros anuales por la venta de energía. La producción anual es de 1.500 MWh, y se ha observado una mejora en la resistencia de las plantas a condiciones climáticas extremas.

Bodegas Navarro López ha iniciado un proyecto piloto para evaluar la viabilidad de sistemas agrovoltaicos en sus viñedos. Con una capacidad instalada de 300 kW y una superficie cubierta de 1,50 hectáreas, utilizan paneles bifaciales que capturan luz por ambos lados, aumentando la eficiencia. Los beneficios económicos incluyen una reducción del 35% en la factura eléctrica y la generación de aproximadamente 30.000 euros anuales por la venta de energía. La producción anual es de 450 MWh, y se ha observado una mejora en la calidad de las uvas y una reducción del estrés hídrico en las plantas.

La Bodega Félix Solís ha implementado un sistema agrovoltaico en una parte de sus viñedos para evaluar su impacto en la producción de vino. Con una capacidad instalada de 800 kW y una superficie cubierta de 3 hectáreas, utilizan paneles solares con seguimiento solar para maximizar la captación de luz. Los beneficios económicos incluyen una reducción del 45% en costos energéticos y la generación de 80.000 euros anuales por la venta de energía. La producción anual es de 1.200 MWh, y se ha observado un incremento del 15% en la calidad de las uvas debido a la sombra y protección contra el calor extremo.

Como se puede comprobar, los beneficios de las explotaciones agrovoltaicas son numerosos. Económicamente, se observa una reducción significativa en la factura eléctrica y la generación de ingresos adicionales a través de la venta de energía. Ambientalmente, se reduce la huella de carbono y se utiliza la tierra de manera más eficiente. Agrícolamente, se mejora la calidad de los cultivos gracias a la sombra parcial que protege las plantas y se aumenta la resiliencia a condiciones climáticas adversas.

Sin embargo, también existen retos. La inversión inicial es elevada y los costos de instalación y mantenimiento pueden ser significativos. Además, es necesario un marco regulatorio claro y favorable para facilitar la integración de estos sistemas. La compatibilidad de los sistemas agrovoltaicos con diferentes tipos de cultivos y terrenos también puede presentar desafíos.

Algunos proyectos han sido desechados debido a diversos problemas. Por ejemplo, el Proyecto de Viñedos Solares en el municipio de La Solana fue descartado debido a dificultades técnicas en la integración de los paneles solares con el sistema de riego existente, costos elevados de inversión inicial y la falta de permisos necesarios para la conexión a la red eléctrica. La Iniciativa de Energía Solar en Viñedos de Manzanares fue abandonada debido a preocupaciones sobre la posible reducción en la producción de uvas debido a la sombra excesiva, un análisis de costos-beneficios desfavorable y dificultades logísticas en la instalación y mantenimiento de los paneles en terrenos irregulares.

En conclusión, las explotaciones agrovoltaicas representan una solución innovadora y sostenible para la agricultura y la generación de energía. A pesar de los desafíos, los beneficios económicos y ambientales hacen que estas iniciativas sean prometedoras para el futuro de la región. La combinación de viñedos en espaldera con sistemas fotovoltaicos no solo mejora la eficiencia energética, sino que también contribuye a la sostenibilidad y resiliencia de la producción agrícola.

6. NORMATIVA

Se proporciona una visión exhaustiva del marco legislativo que regula la instalación de una planta agrovoltáica en una plantación de viñedo en Valdepeñas, Ciudad Real. Se centra en las leyes y ordenanzas pertinentes tanto a nivel nacional como regional y local, asegurando el cumplimiento de todas las normativas aplicables para una implementación exitosa y legal del proyecto.

6.1 Legislación Nacional

- **Real Decreto 1955/2000**, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.
- **Ley 16/2002**, de Prevención y Control Integrados de la Contaminación.
- **Ley 42/2007**, de 13 de diciembre, **del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad**. Esta ley protege el patrimonio natural y la biodiversidad, regulando las actividades que puedan afectar a los espacios naturales y las especies en peligro.
- **Ley 21/2013**, de 9 de diciembre, **de Evaluación Ambiental**. Esta ley regula la evaluación de los impactos ambientales de proyectos que pueden afectar al medio ambiente.
- **Ley 24/2013**, de 26 de diciembre, **del Sector Eléctrico**: Esta ley establece el marco regulador para el sector eléctrico en España, cubriendo aspectos clave como la generación, distribución, comercialización y el acceso a la red eléctrica.
- **Real Decreto 413/2014**, de 6 de junio, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de energía renovables, cogeneración y residuos.
- **Real Decreto 244/2019**, de 5 de abril, regula las condiciones administrativas técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica en España.
- **Real Decreto 1183/2020, de acceso y conexión** a las redes de transporte y distribución de energía eléctrica.
- **Ley 7/2022**, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular.

6.2 Legislación Regional (Castilla-La Mancha)

- **Ley 5/1999**, de 8 de abril, de Urbanismo de Castilla-La Mancha.
- **Ley 3/2009**, de 30 de marzo, de Ordenación del Territorio y Urbanismo de Castilla-La Mancha.
- **Plan Regional de Energía y Clima de Castilla-La Mancha**. Este plan establece las estrategias y objetivos para el desarrollo de energías renovables en la región.

6.3. Legislación Municipal (Valdepeñas)

Ordenanzas Urbanísticas de Valdepeñas:

- **Plan General de Ordenación Urbana (PGOU) de Valdepeñas**
- **Normas Urbanísticas del PGOU**
- **Ordenanza Municipal de Edificación y Uso del Suelo**

Permiso de Uso del Suelo

- **Licencia Urbanística**
-

-
- Licencia de Uso del Suelo
 - Licencia de Actividad
 - Licencia de Parcelación

Regulación Ambiental Local

- Ordenanza de Protección del Medio Ambiente
- Ordenanza Municipal de Gestión de Residuos y Limpieza Urbana
- Ordenanza de Control de Ruidos y Vibraciones
- Ordenanza sobre la Calidad del Aire y Emisiones Contaminantes

7. ESTUDIO PREVIO

El presente estudio, donde se evalúa la viabilidad técnica y económica de una planta agrovoltaica y sinérgica con generación de biomasa, surge de un estudio previo titulado “Plantación de viñedo variedad verdejo de 76,90 hectáreas y diseño de construcciones complementarias en el término municipal de Valdepeñas (Ciudad Real)” [5]. En este estudio, el mismo emplazamiento es utilizado solamente para la plantación de viñedos. Tras el análisis económico, se determina que económicamente el proyecto no es viable.

A continuación, se muestran las principales características de dicho estudio.

7.1 Emplazamiento

Ubicación Geográfica

Como se muestra en la figura 3, la parcela seleccionada para el proyecto se encuentra aproximadamente a 18 kilómetros en dirección norte del municipio de Valdepeñas, una localidad situada en la provincia de Ciudad Real, en la comunidad autónoma de Castilla - La Mancha, España. La parcela está específicamente ubicada en el polígono 3, parcela 23, en la zona conocida localmente como “El Villar” dentro de la barriada de Consolación.

La parcela abarca una superficie total de 76,90 hectáreas. Está situada a una altitud de 705 metros sobre el nivel del mar, con una pendiente muy suave, inferior al 0,50%. Estas características topográficas son ideales para la implementación de un sistema agrovoltaico, facilitando la instalación de paneles solares y la gestión agrícola sin grandes desafíos estructurales o de erosión del suelo.



Fig 3. Ubicación geográfica parcela seleccionada

Coordenadas Geográficas

Para una identificación precisa, las coordenadas geográficas aproximadas de la parcela son:

- 38.915167 N
- 3.395521 W

Estas coordenadas sitúan la parcela al norte del centro urbano de Valdepeñas y cerca de la frontera con el campo agrícola circundante.

7.2 Características de la parcela

Accesibilidad

La parcela es accesible a través de una red de carreteras locales que conectan con las principales vías de comunicación de la región. La proximidad a las carreteras nacionales, como la Autovía A4 o de Andalucía, facilita el acceso tanto para el transporte de materiales durante la fase de construcción como para el mantenimiento continuo del sistema fotovoltaico.

La disponibilidad de transporte público en la zona es limitada. Sin embargo, la conexión con las carreteras principales permite un acceso conveniente mediante transporte privado o comercial.

Recursos Hídricos y Sistema de Riego

La parcela dispone de un pozo ya perforado y construido, asegurando una fuente confiable de agua para el riego. Además, está equipada con un sistema de riego por goteo, diseñado específicamente para una plantación de viñedo intensivo variedad Verdejo en espaldera. El sistema de riego por goteo es altamente eficiente, permitiendo un uso óptimo del agua y asegurando que las vides reciban la cantidad necesaria para un crecimiento saludable.

Sistema de Bombeo de Agua

La explotación cuenta con un sistema de bombeo de agua con capacidad para impulsar 120 m³/h y salvar una altura manométrica de 90 metros de columna de agua hasta el sector de riego más desfavorable. El motor necesario para activar esta bomba de agua cuenta con una potencia de 65 CV. Este sistema garantiza un suministro de agua adecuado para el riego del viñedo, incluso en condiciones de alta demanda o durante periodos de sequía.

Según el calendario anual de riegos establecido en la plantación, hay un periodo medio de riego de 110 días aproximadamente, correspondiendo desde junio hasta septiembre que empieza la vendimia. Este calendario varía en función de las condiciones climatológicas recibidas desde la estación meteorológica propia de la instalación, ajustándose para conseguir las mayores y mejores producciones de uva, sobre todo en lo que a grado de acidez y cantidad.

El sistema de riego está dimensionado dividiendo la plantación en 12 sectores con una duración de riego para cada uno de 1,50 horas, lo que implica una duración de riego diaria total de 18 horas. Esto es debido a que en las horas centrales del día no se procederá a riego debido a las altas temperaturas encontradas en verano. Lo que implica realizar riegos en horario nocturno.

Diseño y Densidad de Plantación

El viñedo está plantado con un marco de plantación rectangular, con una separación de 1,30 metros entre cepas y un ancho de calles de 2,50 metros. Este diseño permite una densidad de plantación de 3.077 cepas por hectárea, optimizando el uso del suelo y maximizando la producción de uvas de alta calidad. Toda la explotación se encuentra fuera de las normas y condicionantes de la DO de Valdepeñas, lo que permite una mayor flexibilidad en las prácticas agrícolas.

Sistema de Fertirriego

El sistema de fertirriego está compuesto por:

- Un depósito de 1.500 litros para la aportación de nitrógeno.
- Un depósito de 600 litros para la aportación de fósforo.
- Un depósito de 7.500 litros para la aportación de potasio.

Infraestructuras

La caseta de riego alberga el cabezal de riego, el programador de riego, el contador, los depósitos de fertilizantes y otros productos utilizados en la explotación.

La estructura de la caseta incluye:

- Paredes de bloques de hormigón.
- Estructura metálica con 2 pórticos de acero.
- Cubierta a dos aguas de panel sándwich.

Las dimensiones de la caseta son:

- Ancho: 8 metros.
 - Longitud: 5 metros.
 - Altura de pilares: 2,90 metros.
-

-
- Pendiente de los faldones: 15°.
 - Altura a cumbrera: 3,97 metros.

La estructura metálica incluye pilares HE-120 B y dinteles IPE-200. Las correas son perfiles IPE-160, dispuestas cada 1,03 metros. La cimentación se realizó con zapatas corridas de 200 x 150 x 50 cm, unidas a los pilares mediante placas de anclaje de 300 mm x 300 mm x 15 mm.

Instalación Eléctrica

La explotación cuenta con instalación eléctrica en baja y media tensión. La instalación en baja tensión proporciona energía suficiente para activar programadores de riego, electroválvulas, sistema de fertirriego, sistemas de bombeo y alumbrado. La instalación en media tensión incluye un transformador aéreo en poste de hormigón de 100 kVA conectado a la red de la distribuidora Naturgy, asegurando un suministro eléctrico fiable para todas las operaciones.

Diseño de la Plantación

La orientación de las espalderas es Este-Oeste, con una altura de vegetación comprendida entre 1,6 y 2 metros. Sumado a la altura del punto más bajo de la vegetación, la altura total por encima del suelo oscila entre 2,3 y 2,6 metros. Para facilitar las labores y el paso de la maquinaria, se realizó un camino perimetral alrededor de la finca de 5 metros de anchura, cinco caminos de servicio transversales de 4 metros de ancho cada uno en dirección Este-Oeste, y tres caminos de paso longitudinales de 6 metros de ancho en dirección Norte-Sur. La longitud máxima de las espalderas es de 71 metros.

7.3 Situación inicial

Estado de la Plantación

La plantación de viñedo lleva establecida desde hace 6 años y se encuentra en plena producción, con una producción media anual de 1,1 millones de kg. Esta producción significativa demostraba a priori la viabilidad agrícola de la parcela cuando se redactó el proyecto para tal fin.

En la realidad, con la inestabilidad climática y el aumento de costes para el mantenimiento de la explotación, la viabilidad económica se ha puesto en entredicho, lo que ha llevado al promotor a buscar alternativas de ingreso.

Maquinaria y Equipamiento

Para el manejo del viñedo, se cuenta con una flota de maquinaria agrícola adquirida recientemente, que incluye:

- Dos tractores, uno de 265 CV y otro de 110 CV.
 - Arado subsolador.
 - Grada de discos.
 - Rastra de púas.
 - Pulverizador hidráulico.
 - Prepodadora.
 - Cultivador de rodillos.
 - Cinco remolques basculantes.
-

Durante la época de vendimia, se alquila una vendimiadora para facilitar la cosecha.

Desafíos Económico

En la actualidad, debido al aumento de los costes de combustible, energía eléctrica y otros insumos necesarios para la explotación y mantenimiento de la plantación, la explotación se ha convertido en un sistema económicamente deficitario. A ello se le suma que los rendimientos económicos percibidos por el promotor en lo que a venta de uva de vinificación se refiere, han caído sustancialmente. Esto viene derivado en gran parte por la bajada del precio pagado a agricultores por la uva en las bodegas.

Estos desafíos financieros están provocando incertidumbre en el promotor, el cual ve que los problemas de liquidez pueden llegar en cualquier momento. Para ello busca alternativas de ingresos para mantener la viabilidad de la explotación agrícola, reducir costes y tener una nueva fuente de ingresos con la venta de la energía eléctrica a mayores de la venta de la uva.

Clima

Valdepeñas, ubicada en la provincia de Ciudad Real, en el centro de España, presenta características climáticas que juegan un papel crucial en la viabilidad y eficiencia de los sistemas fotovoltaicos. Comprender estas características se antoja fundamental para optimizar la instalación y operación de paneles solares, especialmente en una plantación de viñedo intensivo.

Características Climáticas Generales

Valdepeñas se encuentra a una altitud de aproximadamente 670 metros sobre el nivel del mar y posee una latitud de alrededor de 38° norte. Esta ubicación geográfica implica un clima mediterráneo continental, caracterizado por veranos cálidos e inviernos moderadamente fríos.

Durante los meses de verano, en la zona se experimentan temperaturas diurnas que a menudo superan los 35°C con facilidad, con días donde se alcanzan hasta 40°C. Esta exposición prolongada a altas temperaturas puede influir en el rendimiento de los paneles solares, que tienden a ser menos eficientes a medida que la temperatura aumenta. En contraste, los inviernos en Valdepeñas son mucho más suaves, con temperaturas diurnas que oscilan entre 10°C y 15°C y noches que pueden descender hasta alrededor de 0°C y menores. Estos datos de temperatura moderada durante el invierno son favorables para el funcionamiento de los sistemas fotovoltaicos, ya que los paneles tienden a ser más eficientes en temperaturas más frescas.

En cuanto a las precipitaciones, Valdepeñas recibe anualmente entre 300 y 400 mm. La mayor parte de estas precipitaciones ocurre en los meses de otoño e invierno, mientras que los de verano se caracterizan por ser bastante secos. Esta distribución de lluvias es beneficiosa para los sistemas fotovoltaicos, ya que un nivel bajo de humedad en el verano reduce la acumulación de polvo y otros residuos sobre los paneles, lo que puede minimizar la necesidad de limpieza frecuente.

La humedad relativa en la región es baja, lo cual es un factor positivo para el mantenimiento de los paneles solares. La baja humedad disminuye el riesgo de formación de moho y hongos, problemas que pueden afectar la durabilidad y el rendimiento de los paneles.

8. CONSUMO ELÉCTRICO

Una vez conocidas las características de la parcela, a continuación, se detallan los consumos eléctricos de la instalación eléctrica de todo el proyecto. El consumo total estará formado por el riego, el tractor agrícola, el todoterreno, la iluminaria de la caseta y un consumo auxiliar.

8.1 Consumo eléctrico del riego

A continuación, se calcula el consumo eléctrico del sistema de riego:

- Potencia del motor: 65 CV
- Horas de funcionamiento por día: 18 horas
- Días de funcionamiento por año: 110 días
- Precio de la electricidad: 0,25 €/kWh

Paso 1: Convertir la potencia del motor a kilovatios (kW)

Para convertir 65 CV a kW:

$$\text{Potencia (kW)} = 65 \text{ CV} \times 0,7355 \text{ kW/CV}$$

$$\text{Potencia (kW)} = 47,8 \text{ kW}$$

Paso 2: Calcular el consumo eléctrico diario

El consumo diario se calcula multiplicando la potencia del motor por el número de horas de funcionamiento:

$$\text{Consumo Diario (kWh)} = \text{Potencia (kW)} \times \text{Horas de Funcionamiento (h)}$$

$$\text{Consumo Diario (kWh)} = 47,8 \text{ kW} \times 18 \text{ h}$$

$$\text{Consumo Diario (kWh)} = 860,4 \text{ kWh}$$

Paso 3: Calcular el consumo anual

El consumo anual se calcula multiplicando el consumo diario por el número de días de funcionamiento:

$$\text{Consumo Anual (kWh)} = \text{Consumo Diario (kWh)} \times \text{Días de Funcionamiento por Año}$$

$$\text{Consumo Anual (kWh)} = 860,4 \text{ kWh} \times 110$$

$$\text{Consumo Anual (kWh)} = 94.644 \text{ kWh}$$

El consumo será utilizado en los meses de verano: mayo (20 días), junio, julio y agosto (30 días). La tabla 1 muestra el consumo eléctrico del riego.

Consumo	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
MWh	0	0	0	0	17,2	25,81	25,81	25,81	0	0	0	0

Tabla 1. Consumo eléctrico del riego.

8.2 Consumo eléctrico tractor agrícola

Suponiendo un tractor agrícola de 110 CV para el mantenimiento de la explotación de viñedo, mantenimiento de la planta fotovoltaica y trabajos para la gasificación.

Suponiendo una utilización de 110 jornadas al año para completar los trabajos propios del mantenimiento de la planta fotovoltaica, los trabajos de recogida de residuos de sarmientos para la gasificación y los propios de la plantación del viñedo:

➤ Potencia de Carga:

Si se dispone de 10 horas para cargar la batería, y la capacidad de la batería es de 300 kWh, la potencia necesaria para cargarla completamente es:

$$\text{Potencia necesaria} = 300 \text{ kWh} / 10 \text{ horas} = 30 \text{ kW}$$

➤ Consumo Energético Diario:

Si el tractor utiliza toda la capacidad de la batería de 300 kWh en cada jornada de trabajo, el consumo energético diario sería:

$$\text{Consumo energético diario} = 300 \text{ kWh}$$

➤ Cálculo del Consumo Energético Anual:

Para 110 jornadas de trabajo al año:

$$\text{Consumo energético anual} = 300 \text{ kWh} * 110 \text{ jornadas} = 33.000 \text{ kWh}$$

➤ Conversión a MWh:

Convertimos el consumo anual de kWh a MWh: $33.000 \text{ kWh} / 1.000 = 33 \text{ MWh}$

El tractor consumiría aproximadamente **33 MWh al año**, considerando que trabajará 110 jornadas y tiene 10 horas de carga diaria disponibles para cargar una batería de 300 kWh. La tabla 2 muestra el consumo eléctrico mensual del tractor eléctrico.

Consumo	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
MWh	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75

Tabla 2. Consumo eléctrico tractor agrícola.

El coste del tractor agrícola será de **125.000 EUROS**.

8.3 Consumo eléctrico todoterreno

Para calcular el consumo energético necesario para cargar el todoterreno eléctrico, primero debemos determinar el tamaño de la batería y el tiempo de carga.

Datos Necesarios:

1. Capacidad de la Batería: Usaremos una capacidad de batería típica de 60 kWh para el todoterreno.
2. Tiempo de Carga Disponible: 10 horas.
3. Consumo Diario: Estimado el consumo energético diario como 8 kWh.

Cálculo del Consumo Energético para la Carga:**1. Consumo Energético Anual:**

- La carga necesaria para el consumo energético anual se basa en el consumo estimado.

$$\text{Consumo energético anual} = 8 \text{ kWh} * 247 \text{ jornadas} = 1.976 \text{ kWh}$$

2. Potencia de Carga Necesaria:

- Se calcula la potencia necesaria para cargar el todoterreno en 10 horas, usando la siguiente fórmula:

$$\text{Potencia de carga necesaria} = \text{Capacidad de la batería} / \text{Tiempo de carga}$$

$$\text{Potencia de carga necesaria} = 60 \text{ kWh} / 10 \text{ horas} = 6 \text{ kW}$$

3. Cálculo del Consumo Energético Anual para la Carga:

- El cálculo del consumo energético anual para la carga se basa en la capacidad de la batería y el número de cargas anuales.

Si cargamos completamente el todoterreno después de cada jornada, el consumo energético anual para la carga será el mismo que el consumo anual, dado que cada carga de batería será necesaria para compensar el consumo:

$$\text{Consumo energético anual} = 1.976 \text{ kWh}$$

El consumo energético total para cargar el todoterreno es simplemente la suma de las cargas realizadas a lo largo del año, que coincide con el consumo de energía para la operación del vehículo.

Para cargar una batería de 60 kWh en 10 horas, se necesita una potencia de carga de 6 kW. El consumo total anual para la operación del todoterreno es 1.976 kWh, o aproximadamente 1,976 MWh.

Estos cálculos asumen una eficiencia del 100% en la carga y descarga, lo cual no es siempre el caso en la práctica debido a pérdidas en el sistema de carga y descarga. Por lo tanto, en la realidad, el consumo podría ser algo mayor para tener en cuenta estas ineficiencias. El consumo eléctrico del todoterreno será el mostrado en la tabla 3.

Consumo	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
MWh	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16

Tabla 3. Consumo eléctrico de todoterreno.

El coste del todoterreno será de **50.000 EUROS**.

8.4 Consumo eléctrico de la caseta

Como se menciona en el apartado de 'Estudio previo', la parcela cuenta con una caseta con las siguientes dimensiones: 8 metros de ancho, 5 metros de largo y 2,90 metros de altura. Teniendo en cuenta que se tratará de un almacén con una iluminación básica de entre 100 y 150 lux será suficiente.

Se colocarán bombillas LED con aproximadamente 100 lm/W.

$$\text{Potencia} = \frac{40m^2 \cdot 150 \text{ lux}}{100 \text{ lm/W}} = 60 \text{ W}$$

Consumo eléctrico

De media se calcula que se utilizará 2 horas al día la luminaria de la caseta.

$$\text{Consumo diario} = 60 \text{ W} \cdot 2\text{h} = 120 \text{ Wh}$$

$$\text{Consumo mensual} = 120 \text{ Wh} \cdot 30 \text{ días} = 3.600 \text{ Wh} = 3,6 \text{ kWh}$$

En la tabla 4, se puede observar el consumo eléctrico de la caseta.

Consumo	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
MWh	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6

Tabla 4. Consumo eléctrico de la caseta.

8.5 Maquinaria eléctrica

Para la actividad agrícola, se requieren herramientas para la operación y mantenimiento del terreno. El promotor ya cuenta con las siguientes herramientas:

- Arado subsolador. 0€
- Grada de discos. 0€
- Rastra de púas. 0€
- Pulverizador hidráulico. 0€
- Prepodadora. 0€
- Cultivador de rodillos. 0€

Sin embargo, el resto de las herramientas serán necesario comprarlas y, por tanto, realizar una inversión inicial:

- Pala cargadora para tractor, 20.000€
- Rodillo compactador, 12.000€
- Zanjadora, 6.000€
- Brazo hidráulico con equipo de limpieza integrado, 30.000€
- Desbrozadora de martillos, 6.000€
- Dron con cámara térmica, 8.000€
- Cámara termográfica portátil, 3.000€
- Medidor irradiancia, 1.500€
- Medidor de curva IV, 3.500€
- Herramientas de mano, 500€

Se estima un consumo auxiliar del 10% del consumo total para la utilización de las herramientas y otros usos.

8.6 Consumo eléctrico total

A continuación, se muestra a través de la figura 4 y la tabla 5 el consumo eléctrico. El consumo de la instalación será la suma del riego, carga del tractor y carga del todoterreno.

Consumo total anual = 94,6 MWh + 33 MWh + 1,98 MWh + 0,043 MWh = 129,6 MWh

Consumo auxiliar anual = 10% x Consumo total anual = 12,9 MWh

Consumo auxiliar mensual = 1,08 MWh

El consumo eléctrico anual de la instalación será de 142,6 MWh, tal y como se observa en la figura 4 y en la tabla 5.

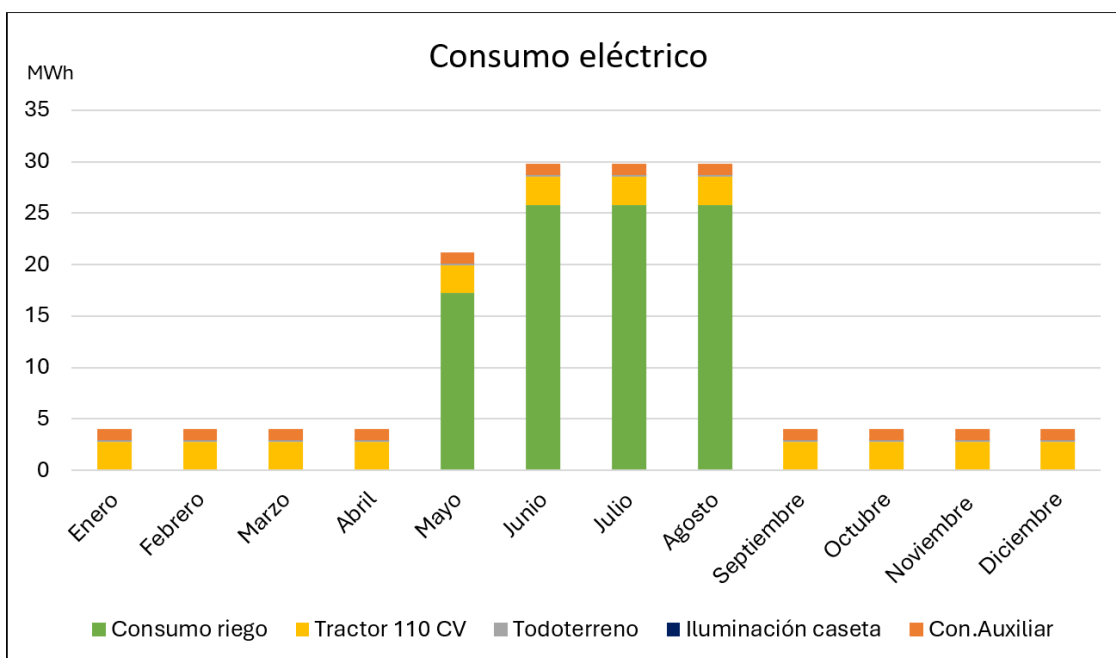


Fig 4. Consumo eléctrico total

Consumo (MWh)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Riego	0	0	0	0	8,6	25,8	25,8	25,8	8,6	0	0	0
Tractor	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75
Todoterreno	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
Iluminación	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
Consumo auxiliar	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
TOTAL	4	4	4	4	21,2	29,8	29,8	29,8	4	4	4	4

Tabla 5. Consumo eléctrico total

9. GENERACIÓN ELÉCTRICA

9.1 Predimensionamiento del sistema Fotovoltaico

Tal como se determina en el ANEXO 1, se selecciona la siguiente instalación: una planta fotovoltaica de 63,84 MW formada por un sistema con orientación a 1 eje (horizontal) en la dirección N-S con una estructura de una altura de 4,5 metros. El diseño del parque fotovoltaico consta de cadenas formadas por 19 módulos. En cada sector, de los 12 que dispone el emplazamiento, se situarán 10 cadenas en serie en la dirección N-S y 70 cadenas en paralelo en dirección E-O. Cada inversor recibirá la potencia generada por 20 cadenas de módulos y, cada sector contará con 35 inversores.

Además, en el estudio económico se deberá tener en cuenta el predimensionamiento de cableados, protecciones y otros elementos de la instalación eléctrica.

En resumen, el sistema fotovoltaico estará formado por:

- Nº de módulos: 159.600
- Nº de inversores: 420
- Potencia: 63,84 MW
- Estructura de 4,5 metros con orientación en eje horizontal (N-S). Giro máximo de 60º.

Tras simular el sistema especificado en el programa PVSyst, se obtienen los datos mostrados en la figura 5 y la tabla 6.

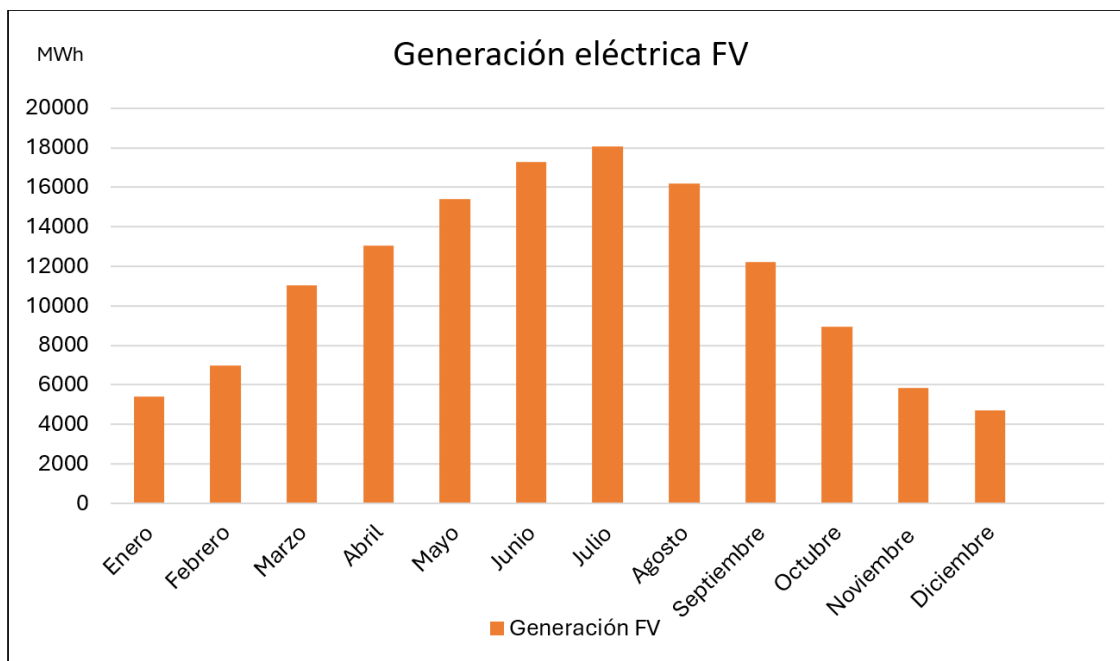


Fig 5. Datos de generación eléctrica a partir de instalacion fotovoltaica

Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
5.416	6.997	11.035	13.034	15.389	17.266	18.073	16.201	12.229	8.961	5.869	4.72	135.183

Tabla 6. Datos de generación eléctrica a partir de instalación fotovoltaica (en MWh)

9.2 Generación a partir de biomasa

Cálculo de cantidad de residuo

La explotación de vid (71 hectáreas reales o efectivas de plantación) objeto de estudio, debido al empleo de un sistema de riego por goteo se asegura una óptima hidratación de las cepas, con una densidad de plantación es de 3.077 plantas por hectárea y el sistema de conducción para las cepas tipo cordón Royat simple; permite una producción intensiva y eficiente.

Cada cepa de esta variedad de vid genera, en promedio, 0,975 kilogramos de poda de sarmientos anualmente según los datos en la propia plantación de manera histórica y referencias obtenidas en plantaciones similares cercanas de la comarca. Esto significa que, en el conjunto de la plantación, se obtiene un volumen significativo de residuos de poda. En total, la biomasa de sarmientos generada en las 71 hectáreas asciende a:

$$\text{Biomasa total de sarmientos} = 71 \text{ hectáreas} \times 3.077 \text{ plantas/hectárea} \times 0,975 \text{ kg/planta}$$

$$\text{Biomasa total de sarmientos } 212.701\text{kg}$$

Estos residuos tienen un potencial energético notable, dado su poder calorífico. El poder calorífico de la biomasa de sarmientos se estima en aproximadamente 16 MJ/kg. Así, la energía potencial total contenida en los residuos de sarmientos es:

$$\text{Energía total} = 212.701 \text{ kg} \times 16 \text{ MJ/kg}$$

$$\text{Energía total} = 3.403.216 \text{ MJ} \times 50\%$$

$$1 \text{ MJ} = 0,2778 \text{ kWh}$$

Entonces:

$$\text{Energía Total (kWh)} = 1.701.608 \text{ MJ} \times 0.2778 \text{ kWh/MJ} = 472.706,70 \text{ kWh}$$

Dado que la eficiencia de conversión es del 30%, solo la mitad de la energía generada será útil.

Energía Útil Generada (kWh):

$$\text{Energía Útil} = 472.706,70 \text{ kWh} \times 0.30 = 141.812,01 \text{ kWh}$$

Además de la biomasa procedente de la poda o sarmientos, durante las operaciones de aclareo de frutos y las operaciones en verde, se genera una cantidad adicional de residuos. Estas operaciones incluyen el despunte, deshojado y desniete, las cuales son cruciales para optimizar la calidad y cantidad de la cosecha. Se estima que estas operaciones generan aproximadamente entre 0,5 y 1 tonelada de residuos por hectárea al año. Tomando un valor medio de 0,75 toneladas por hectárea:

Residuos de operaciones en verde = 71 hectáreas x 0,75 toneladas/hectáreas

Residuos de operaciones en verde = 53,25 toneladas

Residuos de operaciones en verde = 53.250 kg

En resumen, la plantación de 71 hectáreas de vid, no solo produce una importante cantidad de biomasa derivada de la poda, aproximadamente 212.701 kg con un significativo valor energético, sino que también genera alrededor de 53.250 kg de residuos adicionales derivados de las operaciones en verde y aclareo de frutos en cada una de las campañas anuales. Estos residuos representan una oportunidad valiosa para su aprovechamiento energético o para su uso en prácticas agrícolas sostenibles.

La biomasa procedente de la poda generada en la plantación puede aprovecharse para la generación de energía de diversas maneras, como pueden ser la combustión directa, la gasificación, la pirólisis y la producción de biogás.

Para determinar cuál sería el sistema de conversión energética más eficiente y recomendable a los condicionantes que presenta el proyecto, se consideran varios factores:

- Eficiencia energética: Se quiere maximizar la energía recuperada de la biomasa.
- Disponibilidad tecnológica: Es necesario contar con tecnología que esté disponible y sea viable para implementar.
- Costes y complejidad: Asegurar los menores costes de implementación y operación.
- Impacto ambiental: Asegurar la reducción de emisiones y residuos generados.

Teniendo en cuenta estos factores, la gasificación se presenta como la opción más eficiente y viable para convertir la biomasa presente en energía. Aunque tiene un coste inicial más alto y es tecnológicamente más compleja, su mayor eficiencia y la posibilidad de generar syngas de alta calidad, el cual puede ser utilizado para generar electricidad o calor de manera más eficiente, lo convierte en la opción más idónea. Además cabe destacar que la gasificación produce menos emisiones contaminantes comparada por ejemplo con la combustión directa.

A grandes rasgos, el proceso de gasificación para la biomasa objeto del proyecto sería:

- Preparación de la biomasa; secado y triturado de los sarmientos para optimizar el proceso de gasificación.
- Gasificación; alimentación de la biomasa preparada en un gasificador de lecho fijo o fluido y conversión de la biomasa en syngas a través de reacciones de oxidación parcial a alta temperatura.
- Limpieza y enfriamiento del Syngas; remoción de impurezas y enfriamiento del gas producido.
- Utilización del Syngas; generación de electricidad a través de motores de combustión interna o turbinas de gas.

En cuanto al uso y gestión de los 53.250 kilos anuales de residuos en verde de la plantación de vid para valorización energética se toma la decisión de llevarlos a un digestor cercano que el

promotor posee en propiedad en una granja de cría de porcino intensivo, siempre y cuando su transporte y gestión sea económicamente beneficiosa.

Como resultado de llevar a tratar estas 52 toneladas de residuos verdes al biodigestor comentado, se podrá tener acceso al digestato para poder utilizarlo como fertilizante resultante del proceso junto con los purines de cerdo, siempre en las cantidades y formas que el Supervisor/ encargado del viñedo considere oportuno para el buen desarrollo de las plantas.

En caso de no ser posible o rentable el transporte de estos residuos, los mismos se aportarán al suelo como enmienda de materia orgánica directa para ser enterrados.

9.3 Generación de la planta gasificadora

Determinar la Capacidad Requerida de la Planta

Para estimar la capacidad necesaria para generar 141.812,01 kWh, asumimos que la planta funcionará durante todo el año, es decir, 8.760 horas. La fórmula para calcular la capacidad necesaria en kW es:

Capacidad requerida = Producción total de energía/ Horas de operación al año

Capacidad requerida = 141.812,01 kWh/ 8.760 horas = 16,08 kW

Sin embargo, una capacidad mucho mayor suele ser económicamente viable. Para obtener una estimación de costes más práctica.

Una planta de gasificación empieza a ser rentable a partir de los 100 kW generados, con lo que se predimensiona la instalación para esta capacidad de potencia generada.

Con ello, la necesidad de residuos de poda de sarmientos necesarios para generar la potencia comentada será de 985.421,16 kg de sarmientos de poda de viñedo, que serán adquiridos de plantaciones anexas de agricultores.

Destacar que en la comarca de Valdepeñas, anualmente se producen alrededor de 6.600.000 kilos de este tipo de residuo.

Una planta de gasificación puede alcanzar la rentabilidad económica a partir de una capacidad instalada de 100 kW en la producción de electricidad. Esto es debido a una serie de factores técnico-económicos, los cuales pueden optimizar tanto la eficiencia energética del sistema como la amortización derivada de la inversión inicial.

Por ello, a continuación, se presentan las razones que sustentan esta afirmación:

➤ Economías de escala

- Optimización de los costes fijos: Las instalaciones de gasificación a pequeña escala, es decir, por debajo de los 100 kW, enfrentan un elevado coste específico de inversión y operación. Esto viene derivado de los costes fijos, como pueden ser infraestructura, sistemas de limpieza de

gases, equipos auxiliares, etc. ya que no se distribuyen de manera eficiente sobre la producción energética.

Por el contrario, al superar los 100 kW, mencionados costes fijos se diluyen, mejorando el ratio inversión-energía producida, lo que conduce a una disminución de los costes de manera equilibrada.

- Amortización del CAPEX: A partir de 100 kW, la inversión inicial o Capital Expenditure (CAPEX), tiene una amortización más acelerada gracias a una mayor producción neta de electricidad, favoreciendo el retorno sobre la inversión (ROI).

➤ **Acceso a incentivos económicos y tarifas reguladas**

- Regulación de energía renovable. En el marco regulatorio de las energías renovables de España, las plantas de gasificación de biomasa pueden beneficiarse de incentivos económicos. La capacidad de generación eléctrica a partir de 100 kW permite acceder a primas específicas por la venta de electricidad renovable, y en algunos casos, a tarifas reguladas bajo el Real Decreto de Energías Renovables. Esto contribuye a mejorar la viabilidad económica del proyecto.

- Venta de electricidad a la red. Podría hacerse la inyección de excedentes de electricidad en la red eléctrica, maximizando los ingresos derivados de la venta de energía bajo el régimen especial de producción eléctrica de fuentes renovables, cogeneración y residuos. En este caso, toda la energía producida será para venta.

➤ **Aprovechamiento optimizado de la biomasa**

- Gestión eficiente de recursos biomásicos. El uso de biomasa, como subproducto agrícola como es el caso, se gestiona de manera más eficiente debido a la reducción de los costes de transporte y almacenamiento en comparación con instalaciones de una escala menor. Cabe destacar que se maximiza la valorización energética de la biomasa producida por el propio viñedo en una parte y de fuentes de biomasa cercanas, minimizando las emisiones asociadas a la logística.

➤ **Eficiencia energética mediante cogeneración**

- Producción simultánea de electricidad y calor. Aunque no es el caso que nos ocupa, partir de 100 kW, las plantas de gasificación pueden ser diseñadas y operadas bajo esquemas de cogeneración, lo que permite un uso más eficiente de la energía contenida en la biomasa. La cogeneración maximiza el rendimiento global de la instalación, logrando una eficiencia energética superior al aprovechar tanto la producción eléctrica como el calor residual para procesos industriales o calefacción.

➤ **Reducción de costos operativos y optimización tecnológica**

- Mantenimiento y gestión operacional. Las plantas de mayor tamaño se pueden beneficiar de la automatización y la mejora en la gestión de los sistemas, reduciendo los costes de operación y mantenimiento (OPEX). La relación coste-beneficio de la automatización se vuelve más favorable a partir de 100 kW, disminuyendo la dependencia de la mano de obra directa.

- Mejora en la eficiencia de los equipos. A escalas superiores a 100 kW, es posible implementar tecnologías más avanzadas para el acondicionamiento y limpieza del gas de síntesis (syngas), optimizando así la eficiencia térmica y eléctrica del sistema. Esto se traduce en una mejora del rendimiento global y en una reducción de las pérdidas energéticas.

➤ **Marco regulatorio favorable y acceso a mecanismos de financiación**

- Cumplimiento de directivas europeas. En el contexto español, las plantas de gasificación de biomasa a partir de 100 kW se benefician de los mecanismos de apoyo establecidos en las directivas de la Unión Europea (UE) para el fomento de las energías renovables (Directiva 2018/2001 de la UE), así como de los planes nacionales de descarbonización. Esto permite el acceso a incentivos como Certificados de Energía Renovable (CERs) y mecanismos de financiación preferente.

- Contribución a los objetivos nacionales de energías renovables. El Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030 de España establece objetivos específicos para la expansión de las energías renovables, incluyendo la biomasa. Las plantas de gasificación de 100 kW o superiores cumplen con estos objetivos, obteniendo así acceso a subvenciones, créditos blandos y otras facilidades financieras.

➤ **Reducción de emisiones y sostenibilidad ambiental**

- Neutralidad de carbono. Las plantas de gasificación de biomasa se pueden considerar por norma general como neutrales en carbono, ya que el CO₂ liberado durante la combustión del gas de síntesis es compensado por el CO₂ absorbido por la biomasa durante su crecimiento. Esto permite acceder a créditos de carbono y otros incentivos medioambientales relacionados con la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

- Gestión sostenible de residuos. Para una capacidad de 100 kW o más, la planta puede gestionar eficientemente los residuos sólidos y gaseosos generados, lo que minimiza el impacto ambiental y cumple con los requisitos de la normativa ambiental española y europea.

Estimación del Coste Total de la Instalación

Se calcula el costo total de instalación en función de capacidades comunes para plantas de gasificación, ajustando a una planta que sea económicamente viable para una mayor producción.

10. INVERSIÓN INICIAL

La inversión inicial del proyecto es un componente crucial en el análisis de viabilidad económica. Esta inversión abarca costos de infraestructura, adquisición de paneles solares, sistemas de generación de biomasa, y adecuaciones agrícolas necesarias para maximizar la producción. Además, se consideran gastos en permisos, estudios de impacto ambiental, y tecnología de monitoreo. La adecuada planificación de esta inversión es fundamental para asegurar un retorno sostenible y rentable, alineando los objetivos económicos con los beneficios ambientales y sociales del proyecto. Este análisis detalla los elementos de costo y su impacto en la rentabilidad a largo plazo de la planta.

- En la tabla 7, se calcula el coste que supondría la **instalación fotovoltaica**.

Costes del proyecto para planta Fotovoltaica				Miles (K) / Millones (M) - €
	Descripción	Precio unitario	Cantidad	Importe
Estructura de Soporte	Estructura de soporte de 4,5 metros de altura	108 € / cadena	84000	9,072M
	Mano de obra del hincado y montaje de estructura de soporte	3.000 € / jornada	45	135K
	Alquiler máquina hincado	2.000 € / jornada	20	40K
				9,247M €
Seguidores solares	Seguidores solares	10.000 € / unidad	840	8,4M
	Mano de obra del montaje e instalación de los seguidores solares	3.000 € / jornada	15	45K
				8,445M €
Módulo solar	Modulo solar / Trina Solar TSM-400-NEG9-28	104.64 €	159600	16,7M
	Mano de obra del montaje e instalación de módulos fotovoltaicos	3.000 € / jornada	30	90K
				16,79M €
Inversor trifásico	Inversor trifásico / Huawei SUN 2000-125KTL-MO	1.893,42 €	420	795K
	Mano de obra del montaje e instalación de inversores fotovoltaicos	3.000 € / jornada	5	15K
				810K €
Cableado continua	Cableado continua / Cable Unifilar 16mm2 SOLAR PV ZZ-F	2,67 € /m	1.848.000	4,94M
	Mano de obra de colocación cableado	3.000 € / jornada	10	30K
				4,97M €
Cable alterna	Cable alterna / ECOREVI RZ1-K Sección 300m2	9,04 € /m	840.000	7,6M
	Mano de obra de colocación cableado	3.000 € / jornada	5	15K
				7,61M €
Protecciones en DC	Protecciones en DC Fusible 15 A 1000 VDC 10x38 ZTPV-25 de DC Solar Energy	4,71€ / unidad	319.200	1,50 M
	Modelo KFD16.T204 del fabricante Kraus&Naimer	36,1€ / unidad	84.000	3,032M
	Descargador de sobretensiones 1000V MD BF3-40	42,9 € / unidad	84.000	3,604M
				8,136M €
Protecciones en DC	Interruptor automático LZMC2-A300-I 111941 EATON ELECTRIC Interruptor magnetotérmico LZW, 3P, 300A	808,81€ / unidad	35	28K
	Interruptor diferencial modelo 3VA9323-ORL30 de SIEMENS	1.981,44€ / unidad	35	69K
	Limitador contra sobretensiones transitorias 230/400 AC de la marca Solera	389,84€ / unidad	35	13K
				110K €
Coste total del sistema fotovoltaico				56,118M

Tabla 7. Coste que supondría la instalación fotovoltaica.

El coste total del sistema fotovoltaico será de **56.118.000 EUROS**.

- En la tabla 8, se tabulan costos asociados a permisos, estudios normativos y regulaciones locales:

Costos asociados a permisos, estudios normativos y regulaciones locales				
	Descripción	Precio Unitario	Cantidad	Importe
Licencias de construcción	Permisos de construcción	1K	1	1K
Permisos ambientales	Estudios de Impacto Ambiental y permisos del suelo	1,25 K	1	1,25 K
Regulaciones locales y Nacional	Cumplir con normativas específicas incluyen tarifas administrativas	0,75 K	1	0,75 K
Evaluaciones de riesgos	Variables de acuerdo a la profundidad del estudio	0,5 K	1	0,5 K
Total permisos y licencias			Total	3,75 K

Tabla 8. Costos asociados a permisos, estudios normativos y regulaciones.

El coste total de permisos, licencias y estudios normativos es de: **3.750 EUROS**.

- En la tabla 9, se tabulan los costos asociados a la planta de gasificación:

Costes del proyecto para planta de Gasificación		Miles (K) / Millones (M) - €
Estructura de Soporte	Estudio de Recursos y Disponibilidad de Biomasa	7,35K
	Estudio Tecnológico de Gasificación	6,12K
	Ingeniería Básica	12,35K
	Estudio de Impacto Ambiental	8,28K
	Estudio Económico-Financiero	7,63K
	Permisos y Tramitaciones Legales	4,78K
		46,51K €
Adquisición de Terreno y Obra Civil	Adquisición de Terreno	39,78K
	Obra Civil y Construcción	72,54
		112,32K €
Equipo y Maquinaria	Gasificador	81,75K
	Sistema de Alimentación de Biomasa	15,13K
	Generador Eléctrico	35,84K
	Sistemas de Purificación de Syngas	24,95K
	Sistemas de Control y Monitorización	15,42K
	Almacenamiento y Manipulación de Biomasa	18,27K
	Sistema de Gestión de Residuos	10,35
	Sistema de Conexión a la Red Eléctrica	18,25
		219,96K €
Instalación de Equipos	Instalación de Equipos	27,95K
	Pruebas y Puesta en Marcha	15,75K
		43,7K €
Costes Operativos	Coste de Operación y Mantenimiento (O&M)	27,57k
	Costes de Gestión de Biomasa	8,17k
Opex Anual (Costes Operativos)		35,74K €
Total CAPEX (Coste Inicial del Proyecto)		422,49K €

Tabla 9. Costos del proyecto para planta de gasificación.

El coste total del sistema de gasificación es de **422.490 EUROS**.

- En la tabla 10, se tabulan costos asociados a maquinaria eléctrica y herramientas necesarias:

Inversión inicial en maquinaria eléctrica			
	Cantidad	Precio unitario (€)	Coste (€)
Tractor eléctrico 110 CV	1	135.000	135.000
Pala cargadora para tractor	1	20.000	20.000
Todoterreno eléctrico	1	50.000	50.000
Rodillo compactador	1	12.000	12.000
Zanjadora	1	6.000	6.000
Brazo hidráulico de limpieza	1	30.000	30.000
Desbrozadora de martillos	1	6.000	6.000
Dron con cámara térmica	1	8.000	8.000
Cámara termográfica térmica	1	3.000	3.000
Medidor irradiancia	1	1.500	1.500
Medidor de curva IV	1	3.500	3.500
Herramientas de mano	1	500	500
Coste total en maquinaria eléctrica			275.500 (€)

Tabla 10. Inversión inicial en maquinaria eléctrica.

El coste total de maquinaria eléctrica es de: **275.500 EUROS**.

Luego el coste total necesario de inversión inicial para realizar el proyecto híbrido (CAPEX):

$56.118.000 + 3.750 + 422.490 + 275.500 = 56.819.740$ EUROS.

11. COSTES ANUALES

A continuación, se estiman los costes anuales de mantenimiento y operación de la instalación.

11.1 Mantenimiento del viñedo

En la tabla 11, se detallan los costes derivados del mantenimiento y explotación propio del viñedo, los cuales se estimaron como previsibles a partir del quinto año de vida del proyecto y que serán necesarios a la hora de realizar los estudios de viabilidad económica.

Mantenimiento del viñedo			
Año	Concepto		Pagos anuales(€)
5 al 20	Materias Primas	Fertilizantes	1.06 K
		Herbicidas	0.47 K
		Fitosanitarios	2.20 K
	Mano de obra		42.53 K
	Análisis foliares		0.47 K
	TOTAL		46.75 K

Tabla 11. Costos de mantenimiento del viñedo.

-
- Alquiler de la vendimiadora para la recolección de la uva: $240 \text{ €/ha} \times 76,90 \text{ ha} = 18.465,80 \text{ €}$
 - Cantidad económica destinada para mantenimiento de las instalaciones; se aplicará un 4 % del presupuesto de ejecución material: $1.159.249,85 \times 0,04 = 463.69,99 \text{ € ANUALES}$.
 - Presupuesto de ejecución por contrata con IVA (21%): 1.781.419,24 €
 - Valor total de la inversión: 1.781.419,24 € a 20 años

Se han pagado ya al banco en concepto de préstamo 5 años. En la fecha de redacción de este TFM, queda por pagar 1.336.064,43€.

11.2 Coste de personal

La estimación del coste anual del personal requerido para operar y mantener el viñedo ya presente, la planta fotovoltaica y la planta de gasificación proyectadas, implica no solo el cálculo de salarios y cotizaciones a la seguridad social, sino también la cobertura adicional necesaria para gestionar el absentismo y las vacaciones. A continuación, se presenta un análisis exhaustivo de estos factores.

11.2.1 Estructura de Personal y Salarios Brutos Anuales Estimados

Para dimensionar adecuadamente el equipo de trabajo, se ha considerado la naturaleza de las tareas en cada instalación y el grado de especialización requerido:

- **Operadores de Maquinaria Agrícola:**
 - Cantidad: 3 personas
 - Funciones: Operación de equipos agrícolas para labores mecanizadas como la poda, vendimia y otras actividades vitícolas.
 - Salario Bruto Anual Promedio: 27.500 € por persona.
 - Cotización a la Seguridad Social: En España, el empleador debe cubrir aproximadamente un 30% adicional sobre el salario bruto para seguridad social, lo que representa 8.250 € por operador.
 - Coste Total por Operador: $27.500 \text{ €} + 8.250 \text{ €} = 35.750 \text{ €}$.
 - **Técnicos de Mantenimiento (Maquinaria, Planta Fotovoltaica y Planta de Gasificación):**
 - Cantidad: 3 personas.
 - Funciones: Mantenimiento preventivo y correctivo de los sistemas de maquinaria agrícola, paneles solares, y equipos de gasificación.
 - Salario Bruto Anual Promedio: 31.500 € por persona.
 - Cotización a la Seguridad Social: Aproximadamente 9.450 € por técnico.
 - Coste Total por Técnico: $31.500 \text{ €} + 9.450 \text{ €} = 40.950 \text{ €}$.
 - **Ingeniero Eléctrico/Supervisor de Planta:**
 - Cantidad: 1 persona.
 - Funciones: Supervisión técnica de las operaciones de la planta fotovoltaica y de gasificación, asegurando la eficiencia y seguridad de los sistemas.
-

- Salario Bruto Anual Promedio: 45.000 €.
- Cotización a la Seguridad Social: Aproximadamente 13.500 €.
- Coste Total por Ingeniero/Supervisor: 45.000 € + 13.500 € = 58.500 €.

➤ **Supervisor de Viñedo:**

- Cantidad: 1 persona.
- Funciones: Gestión integral del viñedo, incluyendo la supervisión de operaciones mecanizadas, control de calidad de la uva, y planificación de actividades agrícolas.
- Salario Bruto Anual Promedio: 40.000 €.
- Cotización a la Seguridad Social: Aproximadamente 12.000 €.
- Coste Total por Supervisor de Viñedo: 40.000 € + 12.000 € = 52.000 €.

11.2.2 Coste Anual Estimado del Personal Sin Cobertura Adicional

A continuación, se resume el coste total anual del personal sin incluir la cobertura para absentismo ni vacaciones:

- 3 Operadores de Maquinaria Agrícola: 3 * 35.750 € = 107.250 €.
- 3 Técnicos de Mantenimiento: 3 * 40.950 € = 122.850 €.
- 1 Ingeniero Eléctrico/Supervisor de Planta: 58.500 €.
- 1 Supervisor de Viñedo: 52.000 €.

El Coste Anual Total Sin Cobertura Adicional será de 340.600 €.

11.2.3 Cobertura para Absentismo y Vacaciones

Para garantizar la continuidad operativa de las instalaciones durante los periodos de absentismo y vacaciones, es necesario prever una cobertura adicional para paliar estos déficits. Este detalle es vital para evitar interrupciones en las actividades, especialmente en periodos críticos como la vendimia del viñedo a finales de agosto/ principios de septiembre de cada año como el mantenimiento, tanto preventivo como correctivo de los sistemas energéticos.

Absentismo

El absentismo laboral promedio se estima en un 5%, lo que implica la necesidad de cubrir aproximadamente 11 días adicionales de trabajo por empleado al año (calculado sobre la base de 220 días laborables anuales).

Vacaciones

Cada empleado tiene derecho a 22 días hábiles de vacaciones anuales o 31 días naturales, según el Estatuto de los Trabajadores, lo que implica una cobertura para asegurar que las operaciones no se vean afectadas.

Cálculo de Cobertura Adicional

La cobertura total necesaria se estima en un 15% adicional sobre el tiempo de trabajo de cada empleado, considerando tanto el absentismo como el periodo vacacional.

11.2.4 Coste Total Ajustado con Cobertura

Al sumar este 15% adicional para cubrir las ausencias, se obtiene el siguiente coste de manera no específica:

- Coste Adicional del 15% por Cobertura: $340.600 \text{ €} \cdot 15\% = 51.090 \text{ €}$.

- Coste Anual Total con Cobertura de Absentismo y Vacaciones: $340.600 \text{ €} + 51.090 \text{ €} = 391.690 \text{ €}$. El coste total por año del personal necesario para operar y mantener la plantación de viñedo existente, como la planta fotovoltaica y la planta de gasificación proyectados, incluyendo salarios, cotizaciones a la seguridad social y cobertura adicional para absentismo y vacaciones, se estima en aproximadamente 391.690 €. Este cálculo viene a asegurar que todas las áreas estén cubiertas de manera efectiva, garantizando la continuidad de las operaciones y el mantenimiento de la eficiencia en todas las instalaciones.

En la tabla 12, se tabulan los costos de personal requerido para el viñedo, planta de biomasa y planta fotovoltaica:

Costes asociados al Personal requerido				Miles (K) / Millones (M) - €
Descripción	Cantidad	Salario	Seguridad Social	
Operadores de Maquinaria Agrícola	3	27,5K	8,25K	107,25K
				107,25K €
Técnicos de mantenimiento	3	31,5K	9,45k	122,85K
				122,85K €
Supervisor de planta	1	45K	13,5K	58,5K €
				58,5K €
Supervisor de viñedo	1	40K	12K	52K
				52K €
Absentismo + Vacaciones	15%			51,09K
				51,09K €
Mantenimiento de las instalaciones	1	-	-	46,37K
				46,37K €
Costo anual de Personal requerido				391,69K €
Costo asociado al Mantenimiento de las Instalaciones (4% del presupuesto ejecución)				46,37K €
Costo Total Anual asociado Personal + Mantenimiento de Viñedo				438,06K €

Tabla 12. Costos asociados al personal requerido.

El coste total anual de personal requerido y mantenimiento del viñedo es de **438.060 EUROS**.

11.3 Costes de operación y mantenimiento de la planta fotovoltaica

El coste de operación y mantenimiento del sistema fotovoltaico estará compuesto por:

- Sueldo de los trabajadores. Según el apartado anterior.
- Seguro (10.000 EUROS/MW*año), aproximadamente de 630.000 EUROS anuales.
- Mantenimiento preventivo 10.000/EUROS por inspección con 4 inspecciones anuales. 40.000 EUROS ANUALES
- Reemplazo de componentes. Se estima que el 0,1% de la instalación. Aproximadamente 63.000 EUROS.

El coste total anual para la instalación fotovoltaica es de **733.000 EUROS**.

En la tabla 13, se tabulan los costos operativos asociados a la instalación fotovoltaica:

Costes Anuales Operativos de la planta Fotovoltáica		
	Descripción	Importe Miles (K) / Millones (M) - €
Seguro	Seguro 10K €/MW*año	630K
Mantenimiento Preventivo	10K por inspección, se realizarán (4) inspecciones anuales	40K
Reemplazo de Componentes	0,1% de la instalación total	63K
Coste total Operativo del sistema fotovoltaico		733K

Tabla 13. Costos anuales operativos de la planta fotovoltaica.

El coste total anual operativo para la instalación fotovoltaica es de **733.000 EUROS**.

11.4 Costes de instalación de biomasa

En la tabla 14, se tabulan los costos asociados al transporte de la Biomasa a la planta gasificadora y el Opex anual de la propia planta:

Opex Anual de Transporte de Biomasa y Planta Gasificadora		Miles (K) / Millones (M) - €
Trasnporte de Biomasa a Planta Gasificadora	Transporte de Residuos de Poda 0.05 € /Kg	13,297K
Opex Anual de Planta Gasificadora	Costes Operativos de la planta gasificadora en el transcurso del año	35,74K
Opex Anual		49,04K €

Tabla 14. OPEX anual de transporte a biomasa y planta gasificadora.

El coste total anual para transporte de la Biomasa y costes operativos anuales de la planta gasificadora es de **49.040 EUROS**.

12. BENEFICIOS ECONÓMICOS

En el siguiente apartado se incluyen los beneficios económicos de dicha instalación.

12.1 Reducción consumo eléctrico

Como se observa en el capítulo 8.1, el consumo eléctrico del riego es de 94,64 MWh al año. Teniendo en cuenta un precio medio anual de 100 EUROS/MWh, se ahorrarían unos 4.732 EUROS anuales.

$$\text{Ahorro riego} = 94,64 \text{ MWh} \times 100 \text{ €/MWh} = \mathbf{9.464 \text{ € / anuales}}$$

Como se observa en el capítulo 8.4, el consumo eléctrico de la caseta es de 43,2 kWh al año. Teniendo en cuenta un precio medio anual de 50 EUROS/MWh, se ahorrarían unos 4.732 EUROS anuales.

$$\text{Ahorro riego} = 43,2 \text{ kWh} \times 0,1 \text{ €/kWh} = \mathbf{4,32 \text{ € / anuales}}$$

Como se observa en el capítulo 8.5, el consumo eléctrico auxiliar es de 43,2 kWh. Teniendo en cuenta un precio medio anual de 50 EUROS/MWh, se ahorrarían unos 4.732 EUROS anuales.

$$\text{Ahorro riego} = 12,96 \text{ MWh} \times 100 \text{ €/MWh} = \mathbf{1.296 \text{ € / anuales}}$$

12.2 Ahorro en el combustible de maquinaria

Como se observa en los capítulos 8.2 y 8.3, el consumo de combustible del todoterreno y tractor serán sustituidos por vehículos eléctricos. Teniendo en cuenta un precio de 1,189 EUROS/litro y un consumo de combustible de 1.653,35 litros de combustible, se ahorrarían unos 1.965,83 EUROS anuales.

$$\text{Ahorro de combustible} = 1.653,35 \text{ litros} \times 1,189 \text{ €/litro} = \mathbf{1.965,83 \text{ € / anuales}}$$

12.3 Ingresos del viñedo

En la tabla 15, se estima la producción del viñedo y los ingresos que se recibirán por su venta.

Año	Producción (%)	Producción Total (kg)	Precio (€/kg)	Total por año Miles (K) / Millones (M) - €
0-2	0	0,00	0,376	0
3	40	437.544,80	0,376	164,52K
4	80	875.089,60	0,376	329,1K
5-20	100	1.093.862,00	0,376	411,29K

Tabla 15. Producción del viñedo y los ingresos.

Actualmente, la plantación está en el año 6 de producción, por lo que se estima una producción de 1.093.862 kilos de uva al año y vendiéndose a un precio de 0,376 €/kg. Por lo tanto, se recibe un beneficio total estimado de **411.292,11 €/año**.

12.4 Ingresos venta de energía

Según los cálculos realizados en el apartado 9, se generarán **135.324,81 MWh**. El autoconsumo supone 83,5 MWh anuales, por lo tanto se dispone de 135.241,31 MWh para vender.

$$\text{Energía total} = \text{Energía FV} + \text{Energía de biomasa} = \mathbf{135.324,81 \text{ MWh}}$$

$$\text{Energía para vender} = \text{Energía generada} - \text{Energía consumida} = \mathbf{135.241,31 \text{ MWh}}$$

Se firma un contrato PPAA con una empresa cercana a nuestra instalación. El precio del contrato será de **30,5 EUROS/MWh** y se deberá producir al menos 50 GWh al año para esta empresa.

$$\text{Ingreso contrato PPA} = 30,5 \text{ EUROS/MWh} * 50.000 \text{ MWh} = \mathbf{1.525.000 \text{ EUROS/año}}$$

Por lo tanto, la instalación dispondrá de 85.241,31 MWh para vender a precio pool. Para estimar el precio de venta, se utilizarán los datos de OMIP con valores de 58,13 para el periodo de entre 2025 y 2034.

En ese caso obtendremos un ingreso anual de 4.955.077 EUROS.

$$\text{Ingreso mercado eléctrico} = 58,13 \text{ EUROS/MWh} * 85.241,31 \text{ MWh} = \mathbf{4.955.077 \text{ EUROS/anuales}}$$

13. ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA

A partir de la inversión inicial, ingresos y gastos calculados en los apartados 10, 11 y 12 se evalúa la viabilidad económica de la instalación.

13.1 Estimación de ingresos y ahorros

- En la tabla 16, se tabulan los ingresos asociados a ahorros en riego, combustible e ingresos del viñedo y ventas de energía generada en nuestras plantas:

Ingresos y Ahorros Anuales del Proyecto	Miles (K) / Millones (M) - €
Descripción	
Ahorro en Riego	10,76K
Ahorro en Combustible	1,96K
Ingresos del Viñedo	411,3K
Venta de Energía - Contrato PPA	1,525M
Venta de Energía - Mercado Eléctrico	4,955M
Ingresos Totales Anuales	6,904M

Tabla 16. Ingresos y ahorros anuales del proyecto

13.2 Flujos de caja proyectado

Por medio del flujo de caja proyectado, se estiman las entradas y salidas de efectivo del negocio en un periodo futuro específico, para nuestro caso se tiene como horizonte de inversión 25 años, puesto que es el tiempo de duración estimado de una planta fotovoltaica.

En la tabla 17, se tabulan como puntos de partida el saldo inicial disponible, considerando todos los ingresos esperados, como ventas, ahorros y los egresos, como pagos de cuentas, salarios, etc, tabulados previamente. Para la proyección se tendrá en cuenta un incremento de ingresos y costes anual de 10%.

Descripción	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	TOTAL
Ingresos de Efectivo €						
Ahorro en Riego	10,76K	11,84K	13,02K	14,32K	15,75K	65,69K
Ahorro en Combustible	1,96K	2,16K	2,38K	2,62K	2,88K	12K
Ingresos del Viñedo	411,3K	452,43K	497,7K	547,47K	602,22K	2,511M
Venta de Energía - PPA	1,525M	1,677M	1,845M	2,029M	2,232M	9,308M
Venta de Energía - M.E.	4,955M	5,45M	5,995M	6,594M	7,253M	30,247M
Total Ingresos	6,904M	7,59M	8,35M	9,18M	10,1M	42,13M
Egresos de Efectivo €						
Opex Planta fotovoltaica	733K	806,3K	886,93K	975,62K	1,073M	4,475M
Costos asociados al Viñedo	438,06K	481,86K	530,05K	583,05K	641,35K	2,674M
Transporte de Biomasa	13,3K	14,63K	16,09	17,7K	19,47K	81,19K
Opex Planta gasificadora	35,74K	39,31K	43,24K	47,56K	52,32K	218,17K
Total Egresos	1,22M	1,342M	1,476M	1,623M	1,785M	7,447M
Flujo de Caja Neto	5,684M	6,248M	6,874M	7,557M	8,315M	34,678M

Descripción	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10	TOTAL
Ingresos de Efectivo €						
Ahorro en Riego	17,32K	19,05K	20,95K	23,04K	25,34K	105,7K
Ahorro en Combustible	3,168K	3,485K	3,833K	4,216K	4,638K	19,34K
Ingresos del Viñedo	662,44K	728,68K	801,55K	881,70K	969,87K	4,044M
Venta de Energía - PPA	2,455M	2,70M	2,97M	3,267M	3,594M	14,986M
Venta de Energía - M.E.	7,978M	8,776M	9,654M	10,62M	11,68M	48,71M
Total Ingresos	11,11M	12,23M	13,45M	14,79M	16,27M	67,85M
Egresos de Efectivo €						
Opex Planta fotovoltaica	1,180M	1,298M	1,428M	1,571M	1,728M	7,205M
Costos asociados al Viñedo	705,48K	776,03K	853,63K	938,99K	1,033M	4,307M
Transporte de Biomasa	21,417K	23,56K	25,916K	28,51K	31,36K	130,76K
Opex Planta gasificadora	57,552K	63,30K	69,63K	76,59K	84,25K	351,32K
Total Egresos	1,964M	2,16M	2,377M	2,615M	2,877M	11,99M
Flujo de Caja Neto	9,15M	10,07M	11,08M	12,18M	13,40M	55,88M

Descripción	AÑO 11	AÑO 12	AÑO 13	AÑO 14	AÑO 15	TOTAL
Ingresos de Efectivo €						
Ahorro en Riego	27,87K	30,66K	33,73K	37,10K	40,81K	170,17K
Ahorro en Combustible	5,10K	5,61K	6,17K	6,79K	7,47K	31,14K
Ingresos del Viñedo	1,067M	1,17M	1,287M	1,416M	1,558M	6,498M
Venta de Energía - PPA	3,953M	4,348M	4,783M	5,261M	5,787M	24,13M
Venta de Energía - M.E.	12,848M	14,13M	15,54M	17,094M	18,80M	78,41M
Total Ingresos	17,9M	19,684M	21,65M	23,815M	26,19M	109,3M
Egresos de Efectivo €						
Opex Planta fotovoltaica	1,90M	2,09M	2,30M	2,53M	2,783M	11,603M
Costos asociados al Viñedo	1,136M	1,25M	1,375M	1,512M	1,663M	6,936M
Transporte de Biomasa	34,5K	37,95K	41,74K	45,91K	50,50K	210,6K
Opex Planta gasificadora	92,67K	101,94K	112,13K	123,34K	135,67K	565,75K
Total Egresos	3,163M	3,48M	3,829M	4,211M	4,632M	19,315M
Flujo de Caja Neto	14,74M	16,22M	17,84M	19,62M	21,58M	90,00M

Descripción	AÑO 16	AÑO 17	AÑO 18	AÑO 19	AÑO 20	TOTAL
Ingresos de Efectivo €						
Ahorro en Riego	44,89K	49,38K	54,32K	59,75K	65,72K	274,06K
Ahorro en Combustible	8,217K	9,039K	9,943K	10,937K	12,030K	50,17K
Ingresos del Viñedo	1,714M	1,88M	2,073M	2,280M	2,508M	10,455M
Venta de Energía - PPA	6,365M	7,00M	7,7M	8,47M	9,32M	38,85M
Venta de Energía - M.E.	20,68M	22,75M	25,02M	27,52M	30,27M	126,24M
Total Ingresos	28,812M	31,69M	34,86M	38,34M	42,18M	175,88M
Egresos de Efectivo €						
Opex Planta fotovoltaica	3,061M	3,367M	3,704M	4,074M	4,481M	18,687M
Costos asociados al Viñedo	1,829M	2,012M	2,213M	2,434M	2,677M	11,165M
Transporte de Biomasa	55,55K	61,10K	67,21K	73,93K	81,32K	339,11K
Opex Planta gasificadora	149,24K	164,16K	180,58K	198,64K	218,5K	911,12K
Total Egresos	5,095M	5,604M	6,165M	6,780M	7,458M	30,93M
Flujo de Caja Neto	23,74M	26,12M	28,73M	31,6M	34,76M	144,95M

Descripción	AÑO 21	AÑO 22	AÑO 23	AÑO 24	AÑO 25	TOTAL
Ingresos de Efectivo €						
Ahorro en Riego	72,29K	79,52K	87,47K	96,22K	105,84K	441,34K
Ahorro en Combustible	13,23K	14,55K	16K	17,6K	19,36K	80,74K
Ingresos del Viñedo	2,759M	3,035M	3,34M	3,674M	4,041M	16,849M
Venta de Energía - PPA	10,25M	11,27M	12,397M	13,637M	15M	62,55M
Venta de Energía - M.E.	33,3M	36,63M	40,29M	44,32M	48,75M	203,29M
Total Ingresos	46,44M	51,03M	56,19M	61,80M	67,99M	283,53M
Egresos de Efectivo €						
Opex Planta fotovoltaica	4,929M	5,422M	5,964M	6,56M	7,216M	30,09M
Costos asociados al Viñedo	2,945M	3,24M	3,56M	3,916M	4,307M	17,968M
Transporte de Biomasa	89,45K	98,39K	108,23K	119,05K	130,955K	546,07K
Opex Planta gasificadora	240,35K	264,38K	290,82K	319,9K	351,89K	1,467M
Total Egresos	8,2M	9,023M	9,92M	10,92M	12M	50,07M
Flujo de Caja Neto	38,24M	42,06M	46,27M	50,90M	55,99M	233,46M

Nota: Valores dados en "Miles (K) / Millones (M) - €".

Tabla 17. Flujos de caja

A continuación se abordarán los métodos de evaluación financiera, centrando la atención en el cálculo del Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Retorno de la Inversión (ROI o Payback), se efectuará un análisis detallado con el fin de determinar la viabilidad y rentabilidad del proyecto.

13.3 Valor Actual Neto (VAN)

Se determina la rentabilidad neta esperada de una inversión en términos absolutos y actuales, se procede a sumar todos los flujos netos de caja esperados del proyecto a una tasa de rentabilidad requerida, y continuamos a determinar el VAN mediante la siguiente fórmula (se aplica descuento del 9%, aplicado a proyectos de inversión con riesgos similares y se estima un incremento del flujo de caja neto anual de un 10%):

$$VAN = (-Inversión) + \frac{Ingresos \text{ Año } 1}{(1+k)} + \frac{Ingresos \text{ Año } 2}{(1+k)^2} + \frac{Ingresos \text{ Año } n}{(1+k)^n}$$

En la tabla 18, tabulamos la inversión inicial del proyecto (CAPEX) recopilada del capítulo anterior:

	Sistema Fotovoltaico	Planta de Gasificación	Licencias, estudios previos, permisos y estudios normativos.	Maquinaria Eléctrica
Inversión Inicial (€)	56,118M	422,49K	3,75K	275K
TOTAL	56,82M €			

Tabla 18. Inversión inicial del proyecto CAPEX

Luego el coste total necesario de inversión inicial para realizar el proyecto híbrido (CAPEX) es de **56.819.740 EUROS**.

Teniendo el flujo de caja de ingresos y egresos anuales del apartado 13.2, se procede a calcular el VAN (se tendrá en cuenta un incremento de ingresos y costes anual del 10% y una tasa de descuento del 9%, aplicado a proyectos de inversión con riesgos similares) en la tabla 19.

AÑO	DESEMBOLSO INICIAL (Millones de Euros)	INGRESOS - EGRESOS (Millones de Euros)	TASA DE DESCUENTO DEL 10%	FLUJO DESCONTADO (Millones de Euros)
0	-56.82	-56.82		-56.82
1	0	5.68	$5.68 / ((1+0.09)^1)$	5.21
2	0	6.25	$6.25 / ((1+0.09)^2)$	5.26
3	0	6.88	$6.88 / ((1+0.09)^3)$	5.31
4	0	7.57	$7.57 / ((1+0.09)^4)$	5.36
5	0	8.32	$8.32 / ((1+0.09)^5)$	5.41
6	0	9.15	$9.15 / ((1+0.09)^6)$	5.46
7	0	10.07	$10.07 / ((1+0.09)^7)$	5.51
8	0	11.08	$11.08 / ((1+0.09)^8)$	5.56
9	0	12.18	$12.18 / ((1+0.09)^9)$	5.61
10	0	13.40	$13.40 / ((1+0.09)^{10})$	5.66
11	0	14.74	$14.74 / ((1+0.09)^{11})$	5.71
			VAN	3.25

Tabla 19. Inversión inicial del proyecto CAPEX

Se obtiene un valor positivo durante el undécimo año, el **VAN es de 3.250.000 €**, nos indica que el proyecto agrovoltaico sinérgico va a producir ganancias.

13.4 Tasa interna de rentabilidad (TIR)

El TIR (Tasa Interna de Retorno) es crucial en el estudio de viabilidad, ya que proporciona una medida del rendimiento esperado del proyecto. Evaluar el TIR permite determinar la rentabilidad y comparar el atractivo económico de esta inversión frente a otras oportunidades.

Un TIR elevado indica que el proyecto no solo es viable, sino que ofrece un retorno competitivo, lo que es esencial para justificar el capital y asegurar el compromiso de los stakeholders.

$$-A + \frac{Q_1}{(1+r)} + \frac{Q_1}{(1+r)^2} + \dots + \frac{Q_n}{(1+r)^n} = 0$$

$$VPN = \sum_{N=1}^N \frac{FCn}{(1+TIR)^n} - I = 0$$

Donde:

VAN: Valor actual neto

N: Años

FCn: Flujo de caja neto

I: Inversión inicial

La tabla 20 muestra el cálculo de la tasa interna de rentabilidad del proyecto.

AÑO	DESEMBOLSO INICIAL (Millones de Euros)	% TASA DE DESCUENTO	INGRESOS - EGRESOS (Millones de Euros)	TASA DE DESCUENTO DEL 10%	FLUJO DESCONTADO (Millones de Euros)
0	-56.82	-	-56.82		-56.82
1	0	-	5.68	$5.68 / ((1+0.09)^1)$	5.21
2	0	9%	6.25	$6.25 / ((1+0.09)^2)$	5.26
3	0	9%	6.88	$6.88 / ((1+0.09)^3)$	5.31
4	0	9%	7.57	$7.57 / ((1+0.09)^4)$	5.36
5	0	9%	8.32	$8.32 / ((1+0.09)^5)$	5.41
6	0	9%	9.15	$9.15 / ((1+0.09)^6)$	5.46
7	0	9%	10.07	$10.07 / ((1+0.09)^7)$	5.51
8	0	9%	11.08	$11.08 / ((1+0.09)^8)$	5.56
9	0	9%	12.18	$12.18 / ((1+0.09)^9)$	5.61
10	0	9%	13.40	$13.40 / ((1+0.09)^{10})$	5.66
11	0	9%	14.74	$14.74 / ((1+0.09)^{11})$	5.71
12	0	9%	16.22	$16.22 / ((1+0.09)^{12})$	5.77
13	0	9%	17.84	$17.84 / ((1+0.09)^{13})$	5.82
14	0	9%	19.62	$19.62 / ((1+0.09)^{14})$	5.87
15	0	9%	21.58	$21.58 / ((1+0.09)^{15})$	5.93
16	0	9%	23.74	$23.74 / ((1+0.09)^{16})$	5.98
17	0	9%	26.12	$26.12 / ((1+0.09)^{17})$	6.04
18	0	9%	28.73	$28.73 / ((1+0.09)^{18})$	6.09
19	0	9%	31.60	$31.60 / ((1+0.09)^{19})$	6.15
20	0	9%	34.76	$34.76 / ((1+0.09)^{20})$	6.20
21	0	9%	38.24	$38.24 / ((1+0.09)^{21})$	6.26
22	0	9%	42.06	$42.06 / ((1+0.09)^{22})$	6.32
23	0	9%	46.27	$46.27 / ((1+0.09)^{23})$	6.38
24	0	9%	50.90	$50.90 / ((1+0.09)^{24})$	6.43
25	0	9%	55.99	$55.99 / ((1+0.09)^{25})$	6.49

Tabla 20. Cálculo tasa interna de rentabilidad (TIR)

Después de llevar a cabo el análisis de viabilidad económica del proyecto durante un horizonte de inversión de 25 años, se ha obtenido una **Tasa Interna de Retorno (TIR) del 18%**. Este resultado nos permite hacer las siguientes consideraciones:

- El TIR del 18% supera la tasa de descuento utilizada en el análisis, la cual es del 9%. Esto sugiere que el proyecto generará retornos superiores al costo de capital, aportando valor a la empresa y justificando su viabilidad económica.
- Un TIR del 18% es positivo y, generalmente, se considera un retorno atractivo en comparación con inversiones alternativas de riesgo similar. Esto respalda la recomendación de continuar con la inversión en el proyecto.

13.5 PRI (Periodo de Recuperación de la Inversión)

El Período de Recuperación de la Inversión (PRI), también conocido como payback period, es un indicador financiero que mide el tiempo que se necesita para recuperar la inversión inicial en un proyecto a través de los flujos de caja generados. Este cálculo es fundamental en la evaluación de proyectos de inversión, ya que permite a los inversores y a las empresas determinar cuán rápidamente su capital se verá recuperado y, por lo tanto, evaluar el riesgo asociado con la inversión.

Luego tenemos la siguiente expresión:

$$\text{PRI} = \frac{\text{Inversión Inicial}}{\text{Flujo de Caja Anual Promedio}}$$

Para nuestro caso, se toma el flujo de caja anual tomando en cuenta la rentabilidad generada en el tiempo determinada con el VAN, con el fin de dar más precisión al “PRI”, obteniendo lo siguiente:

$$\text{PRI} = 56,82 \text{ M} / 5,65 \text{ M} = 10,06$$

Esto nos indica que nuestro periodo de recuperación de la inversión se dará en 10,06 años, es decir a comienzos del undécimo año.

En la figura 6, se muestra el flujo de caja acumulado a lo largo de los años.

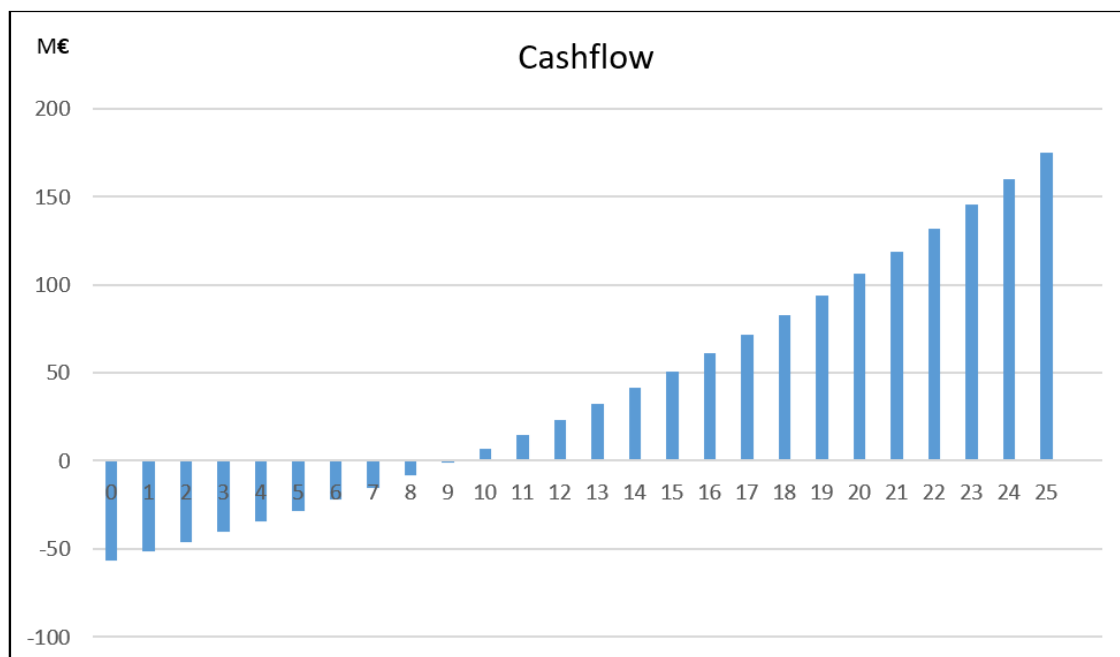


Fig 6. PRI (Periodo de Recuperación de la Inversión)

13.6 Comparación con estudio previo

En la tabla 21, se comparan los principales parámetros calculados con los obtenidos en el estudio previo, donde sólo existía la actividad agrícola.

Parámetros	Actividad agrícola	Actividad agrícola + Fotovoltaica+Biomasa
Inversión inicial	1.781.419 €	56.819.740 €
VAN	349.340 €	3.250.000 €
TIR	12%	18%
PRI	11,63 años	10,06 años
Retorno a los 20 años	428.489 €	68.750.000 €

Tabla 21. Comparativa de los valores económicos entre ambos proyectos.

La comparación muestra que el proyecto constituido por una actividad agrícola junto a una planta fotovoltaica y una planta de biomasa tiene mejor TIR, VAN, y Periodo de retorno. No obstante, la diferencia es pequeña. Además, la inversión inicial es más de 50 millones de euros superior, por lo que es posible que el promotor prefiera o pueda conseguir el capital necesario.

14. CONCLUSIONES

En línea con el objetivo inicialmente planteado el presente estudio ha permitido al proyectista evaluar la viabilidad técnica y económica de la instalación de un sistema fotovoltaico y de una planta de biomasa, en el mismo terreno que una plantación de viñedos ya existente.

Para el sistema fotovoltaico se determinó que el sistema fotovoltaico más rentable económicamente de las tecnologías actuales, teniendo en cuentas las características y condiciones del emplazamiento, consistía en una estructura de 4,5 metros de altura con seguimiento a un eje. El predimensionamiento fotovoltaico permitió determinar que técnicamente era viable incorporar el sistema sin afectar negativamente a los cultivos, generando 135.183 MWh anuales.

Respecto a la planta de biomasa, se justificó técnicamente la generación de energía eléctrica a partir de los residuos agrícolas del emplazamiento. No obstante, por la parte económica, tras observar otros estudios y antecedentes se concluyó que para rentabilizar una planta de biomasa se requería una potencia mínima de 100 kW. Dado que los residuos del terreno agrícola sólo permitían generar hasta 16,08 kW, se decide adquirir 985.421,15 kg de residuos de plantaciones anexas.

Respecto a la viabilidad económica del proyecto, se alcanza un VAN de 3.250.000 €, un TIR del 18% y un periodo de recuperación de la inversión de 10 años, lo que se considera unos resultados atractivos para que, al menos, el promotor se plantee la inversión. La comparativa con el estudio previo, demuestra la actividad agrovoltáica tiene una mayor rentabilidad que una simple actividad agrícola en ese emplazamiento. No obstante, la inversión inicial requerida es de 56.819.740 €, capital no accesible para cualquier promotor.

CONCLUSIONS

Regarding the initially stated objective, this study has allowed for the evaluation of the technical and economic feasibility of installing a photovoltaic system and a biomass plant on the same land as the existing agricultural plantation

For the photovoltaic system, it was determined that the most economically profitable system, based on current technologies and taking into account the characteristics and conditions of the site, consists of a 4.5-meter-high structure with single-axis tracking. The preliminary sizing of the photovoltaic system showed that it was technically feasible to incorporate it without negatively affecting the crops, generating 135,183 MWh annually.

Regarding the biomass plant, the generation of electricity from the agricultural waste of the site was technically justified. However, from an economic perspective, after reviewing other studies and precedents, it was concluded that to make a biomass plant profitable, a minimum capacity of 100 kW would be required. Given that the waste from the agricultural land would only allow

for the generation of up to 16.08 kW, it was decided to acquire 985,421.15 kg of waste from neighboring plantations.

Regarding the economic viability of the project, a Net Present Value (NPV) of €3,250,000, an Internal Rate of Return (IRR) of 18%, and a payback period of 10 years were achieved. These are considered attractive results, suggesting that the investor should at least consider moving forward with the investment. A comparison with the previous study shows that the agrovoltáic activity is more profitable than a purely agricultural one. However, the required initial investment amounts to €56,819,740, a sum not accessible to all investors.

15. ANEXOS

Para el desarrollo del estudio, se han utilizado los siguientes documentos:

- ANEXO I: Predimensionamiento del sistema fotovoltaico.
- ANEXO II: Informe del programa PVSyst para uno de los doce sectores.
- ANEXO III: Planos de la instalación.
- ANEXO IV: Documento Excel para evaluación económica.
- ANEXO V: Memoria del proyecto final de carrera “Plantación de viñedo variedad verdejo de 76,90 hectáreas y diseño de construcciones complementarias en el término municipal de Valdepeñas (Ciudad Real)”.
- ANEXO VI: Estudio económico del proyecto final de carrera “Plantación de viñedo variedad verdejo de 76,90 hectáreas y diseño de construcciones complementarias en el término municipal de Valdepeñas (Ciudad Real)”.

16. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- [1] Deutsches Institut für Normung (2021). “DIN SPEC 91434”.
- [2] Ministero dell’ Ambiente e della Sicurezza Energetica (2022). Linee Guida in materia di Impianti Agrivoltaici”.
- [3] Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires, et Ministère de l’Agriculture et de la Souveraineté alimentaire. “Décret n° 2024-318 du avril 2024 relatif au développement de l’agrovoltaïsme et aux conditions d’implantation des installations photovoltaïques sur des terrains agricoles, naturels ou forestiers.”
- [4] Unión Española Fotovoltaica (UNEF). (2022) *Sinergia entre la Actividad Agropecuaria y la Fotovoltaica: Promoviendo la Bioagrovoltaica*. UNEF.
- [5] Ruiz Merlo, J. D. (2014). Proyecto final de carrera “Plantación de viñedo variedad verdejo de 76,90 hectáreas y diseño de construcciones complementarias en el término municipal de Valdepeñas (Ciudad Real)”. España. Universidad Politécnica de Madrid.
- [6] Pugliese Aveiro, F. (2023). “Manual de proyección de sistemas solares: Guía para el diseño de sistemas fotovoltaicos”. Italia. Publicación independiente.
- [7] Fouad A.S. et al. (2022). “Ingeniería de sistemas fotovoltaicos”. España. Ediciones Nuestro Conocimiento.
- [8] Gift G. et al. (2022). “Gasificación de la biomasa; un recurso energético renovable alternativo”. España. Ediciones Nuestro Conocimiento.
- [9] Pérez Bermúdez, R. A., Roque Díaz, P. R. (2014). “Termoeconomía del beneficio del gas de gasificación de biomasa: Estudio termoeconómico del beneficio del gas de gasificación de biomasa en lecho fluidizado con fines energéticos”. España. Editorial Académica Española.
- [10] Castro Rodríguez, F., & Gómez Gallego, R. (2018). Energía fotovoltaica: Tecnología, diseño y mantenimiento. Alfaomega.
- [11] Unión Española Fotovoltaica (UNEF). (2020). Guía de Buenas Prácticas para Instalaciones Fotovoltaicas. UNEF.