



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

Estudio de viabilidad de una instalación agrovoltaica

Autor: Elena Sánchez Tejedor

Director: Íñigo Sanz

Madrid

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título *Estudio de viabilidad de una instalación agrovoltaica* en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el curso académico 2024/25 es de mi autoría, original e inédito y no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Elena Sánchez Tejedor Fecha: 17/ 06/ 2025



Autorizada la entrega del proyecto
EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Íñigo Sanz Fernández Fecha: 17/ 06/ 2025

Fdo.: Íñigo Sanz Fernández Fecha: 17/ 06/ 2025

**SANZ
FERNANDEZ
IÑIGO -
523671 15W** Firmado
digitalmente por
SANZ FERNANDEZ
IÑIGO - 52367115W
Fecha: 2025.06.18
08:11:23 +02'00'

Agradecimientos

Quisiera agradecer a todas las personas que han formado parte de este camino y han hecho que estos años sean inolvidables.

A mi familia, por su apoyo constante, su comprensión y por estar siempre ahí, en cada paso y cada decisión.

A mis amigos, por compartir risas y momentos que guardo con cariño, y por saber estar en lo bueno y en lo difícil.

A todos vosotros, gracias por vuestro ánimo, vuestra compañía y por haber hecho de esta etapa algo único. Este logro es también vuestro.

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UNA INSTALACIÓN AGROVOLTAICA

Autor: Sánchez Tejedor, Elena

Director: Iñigo Sanz

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

Introducción

El presente Trabajo de Fin de Grado analiza la viabilidad integral de una instalación agrovoltaica en una finca de cultivo de tomate en Extremadura. El objetivo es compatibilizar la generación de energía solar fotovoltaica con el uso agrícola del suelo, maximizando su aprovechamiento mediante una instalación elevada que no interfiere en el desarrollo de los cultivos. La motivación principal radica en la necesidad de fomentar un modelo agrario sostenible, energéticamente autosuficiente y climáticamente resiliente.

Este enfoque se justifica en un contexto de creciente presión sobre los recursos naturales, especialmente en regiones con elevado potencial solar como Extremadura, donde la actividad agrícola puede beneficiarse significativamente de la integración energética. La agrovoltaica se plantea, por tanto, como una solución sinérgica para impulsar la transición ecológica, optimizando simultáneamente la productividad del terreno, la eficiencia en el uso del agua y la independencia energética de las explotaciones rurales.

Metodología

El proyecto se ha estructurado en torno a cuatro ejes de análisis: técnico, energético, económico y legal. A continuación, se resumen las principales herramientas y decisiones adoptadas en cada uno de ellos.

- **Diseño técnico de la instalación:** Se seleccionaron 56 módulos fotovoltaicos Aptos Solar DNA-144-B10 de 540 W cada uno, dispuestos en 14 cadenas de 4 módulos. Estos se conectan a un inversor Canadian Solar de 25,58 kW. El sistema está

instalado sobre una estructura elevada a 2 metros de altura, permitiendo la circulación de maquinaria y el desarrollo del cultivo sin interferencias.

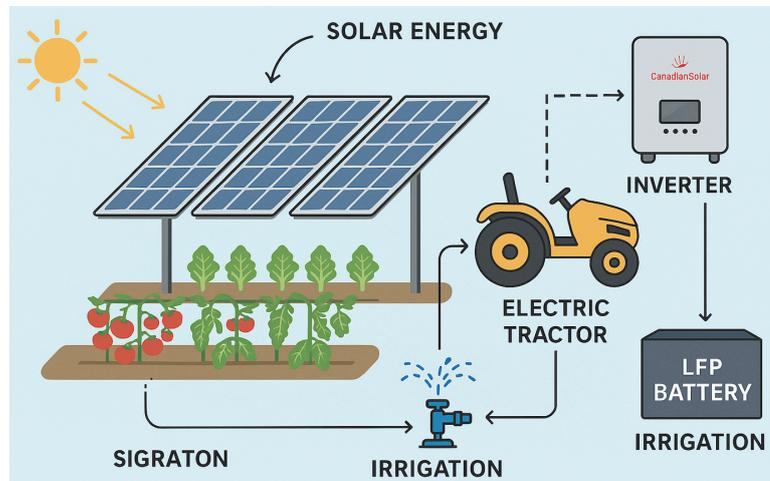
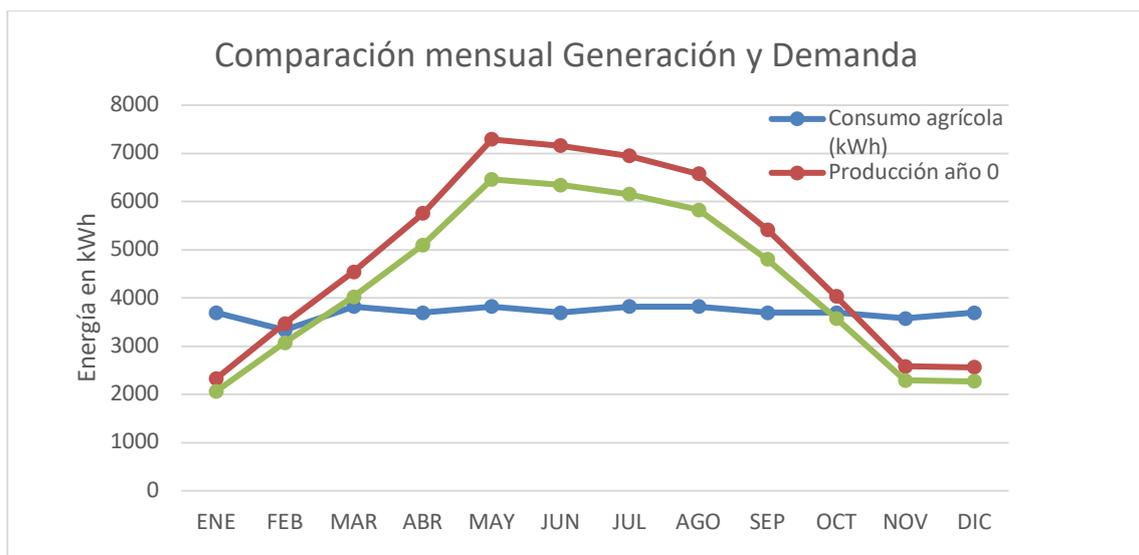


Ilustración 1: Esquema del sistema agrovoltaico utilizado

- **Simulación con SAM:** Se empleó el software System Advisor Model (SAM), desarrollado por el NREL, para simular el rendimiento energético de la instalación a lo largo de los 25 años de vida útil prevista. Se consideraron pérdidas por temperatura, suciedad, desajustes, cableado y una degradación del 0,5 % anual a partir del segundo año.
- **Análisis de la demanda:** Se calcularon los consumos energéticos del sistema de riego por goteo (cultivos de tomate en primavera-verano y acelga en otoño-invierno) y la recarga de un tractor eléctrico con batería de 110 kWh. El consumo total estimado fue de 44.348,9 kWh/año, con una distribución mensual relativamente homogénea.
- **Estudio económico y legal:** A través de Excel se construyó un modelo económico que incluye la inversión inicial (CAPEX), los costes operativos (OPEX), el ahorro económico por autoconsumo, la sustitución de gasóleo, el ahorro hídrico y el coste por electricidad no cubierta. También se analizaron los trámites administrativos necesarios y los plazos asociados a cada fase del proyecto.

Resultados

- **Producción energética:** En el primer año, la instalación produce 58.589 kWh de electricidad, cubriendo completamente la demanda de la mayoría de los meses del año. En el año 25, la producción se reduce a 51.935 kWh debido a la degradación progresiva de los módulos, pero continúa cubriendo la mayoría del consumo.



Gráfica 1: Comparación Generación y Demanda

- **Cobertura mensual:** De abril a septiembre, la producción mensual supera la demanda, permitiendo un funcionamiento autónomo. En los meses de menor irradiación (noviembre a febrero) se generan pequeños déficits, estimados en una media de 515,42 € al año por compras puntuales de electricidad.
- **Ahorros generados:** El sistema proporciona un ahorro anual global superior a los 9.000 € a través de:
 - Reducción del consumo de gasóleo por la electrificación del tractor (~5.000 €/año).
 - Ahorro hídrico por menor evapotranspiración (~18.222 m³/año, equivalente a ~832 €/año).
 - Autoconsumo eléctrico de la propia instalación (~3.200 €/año).
- **Indicadores económicos clave:**
 - Inversión total: 115.302 € (incluyendo el tractor eléctrico).
 - Valor Actual Neto (VAN): 4.791 €.
 - Tasa Interna de Retorno (TIR): 7,46 %.
 - Periodo de retorno descontado (PR): 23 años.
- **Viabilidad legal:** Se identificaron y calendarizaron todos los trámites necesarios: compatibilidad urbanística, Autorización Ambiental Unificada, licencia de obras, legalización eléctrica, inscripción en el RAAC y puesta en servicio. El tiempo total estimado es de entre 6 y 8 meses, siendo compatible con los ciclos del cultivo al ejecutar la instalación en los meses de menor actividad agrícola.

Discusión

El sistema agrovoltaico planteado en este estudio es técnicamente sólido, con una configuración que asegura la compatibilidad con el cultivo de tomate y acelga gracias a la disposición elevada de los paneles y a un diseño eficiente del sistema energético. La elección de módulos bifaciales, el uso de optimizadores y una estructura adaptable refuerzan la robustez técnica de la solución.

Desde un punto de vista económico, aunque los retornos no son elevados, sí son suficientes para justificar la inversión, sobre todo considerando que el análisis se ha realizado sin contemplar subvenciones. El hecho de que el sistema mantenga su funcionalidad y rentabilidad tras 25 años demuestra la solidez del planteamiento y su escalabilidad potencial.

Legalmente, se confirma que la instalación cumple con todos los requisitos establecidos por la normativa autonómica y nacional. Además, Extremadura cuenta con una normativa particularmente favorable al autoconsumo en suelo rústico, lo que refuerza la viabilidad jurídica del proyecto.

No obstante, una de las principales limitaciones identificadas es la imposibilidad actual de conectarse a la red eléctrica para vender excedentes, debido a la saturación de los nudos de evacuación cercanos. Esta restricción impide considerar un diseño más intensivo con venta de energía, que habría resultado mucho más rentable. Si en el futuro se libera capacidad en la red, se recomienda realizar un rediseño del sistema para incorporar la venta a red.

Conclusiones

Este proyecto demuestra que una instalación agrovoltaica correctamente dimensionada puede cubrir de forma autosuficiente las necesidades energéticas de una explotación agrícola de regadío. Además, contribuye a reducir el impacto ambiental, mejorar la eficiencia hídrica y fomentar la electrificación del sector primario, todo ello sin renunciar al uso agrícola del terreno.

Aunque la rentabilidad es moderada, es positiva incluso en escenarios conservadores, y puede mejorar significativamente mediante la inclusión de subvenciones o una futura conexión a red. La agrovoltaica se consolida, así como una solución estratégica para zonas rurales con alta irradiación solar y tradición agraria como Extremadura.

PROJECT SUMMARY

Introduction

This Final Degree Project analyzes the overall feasibility of an agrivoltaic installation on a tomato farm located in Extremadura, Spain. The objective is to make photovoltaic solar energy generation compatible with agricultural land use, maximizing land utilization through an elevated system that does not interfere with crop development. The main motivation lies in the need to promote a sustainable agricultural model that is both energy self-sufficient and climate-resilient.

This approach is especially justified in the context of increasing pressure on natural resources, particularly in regions with high solar potential such as Extremadura, where agricultural activity can benefit significantly from energy integration. Agrivoltaics thus emerges as a synergistic solution to drive the ecological transition, optimizing land productivity, water-use efficiency, and the energy autonomy of rural farms.

Methodology

The project has been structured around four main areas of analysis: technical, energy, economic, and legal. The main tools and decisions in each of these areas are summarized below:

- **Technical design of the installation:** 56 photovoltaic modules (Aptos Solar DNA-144-B10, 540 W) were selected, arranged in 14 strings of 4 modules each. These are connected to a Canadian Solar inverter with a nominal output of 25.58 kW. The system is mounted on a 2-meter-high structure, allowing machinery to pass underneath and crops to grow without obstruction.

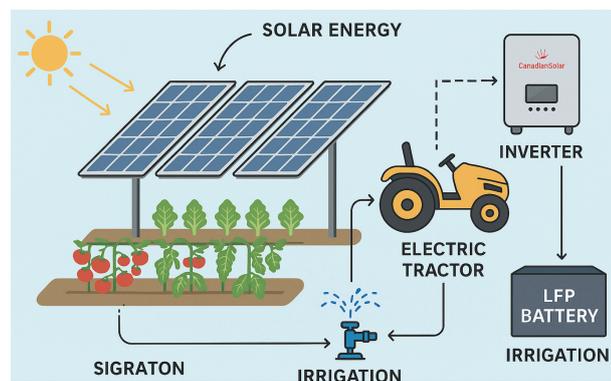
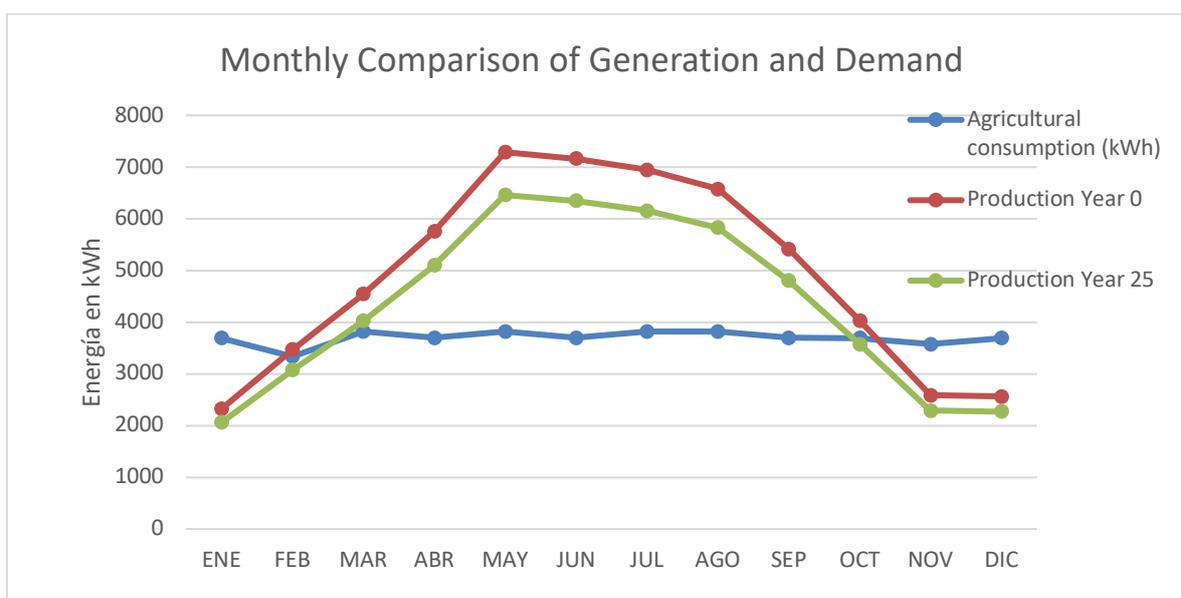


Ilustración 2: Graphic

- **Simulation using SAM:** The System Advisor Model (SAM), developed by NREL, was used to simulate the energy performance of the installation over a projected lifespan of 25 years. Losses due to temperature, dirt, mismatch, wiring, and an annual degradation rate of 0.5% (starting from year two) were considered.
- **Energy demand analysis:** Energy consumption from the drip irrigation system (for tomato crops in spring/summer and Swiss chard in autumn/winter) and the daily charging of an electric tractor with a 110 kWh battery was calculated. Total annual demand was estimated at 44,348.9 kWh, with a relatively stable monthly distribution.
- **Economic and legal assessment:** An economic model was built in Excel, including initial investment (CAPEX), operating costs (OPEX), savings from self-consumption, diesel replacement, water savings, and the cost of unmet energy needs. Additionally, administrative procedures and estimated processing times were analyzed for each phase of the project.

Results

- **Energy production:** In the first year, the system generates 58,589 kWh of electricity, fully covering the forecast demand with a 13% surplus. By year 25, production is expected to decline to 51,935 kWh due to module degradation but will still meet the majority of energy needs.



Gráfica 2: Monthly Comparison of Generation and Demand

- **Monthly coverage:** From April to September, monthly production exceeds demand, enabling autonomous operation. From November to February, small deficits occur, estimated to cost around €515.42 annually in purchased electricity.
- **Savings generated:** The system provides over €9,000 in total annual savings through:
 - Reduced diesel consumption due to tractor electrification (~€5,000/year).
 - Water savings from lower evapotranspiration (~18,222 m³/year, ~€832/year).
 - Electricity self-consumption (~€3,200/year).
- **Key financial indicators:**
 - Total investment: €115,302 (including the electric tractor).
 - Net Present Value (NPV): €4,791.
 - Internal Rate of Return (IRR): 7.46%.
 - Discounted Payback Period (DPP): 23 years.
- **Legal feasibility:** All necessary procedures were identified and scheduled, including land-use compatibility, environmental authorization, construction permit, electrical legalization, RAAC registration, and commissioning. The total estimated time is 6–8 months, and the execution plan aligns with the off-season months of the tomato crop to avoid disruption.

Discussion

The proposed agrivoltaic system is technically robust, with a configuration that ensures compatibility with both tomato and Swiss chard cultivation. Elevated mounting, bifacial modules, and smart optimization contribute to an efficient and resilient design.

From an economic perspective, while the financial returns are moderate, they are sufficient to justify the investment—especially since the analysis assumes no subsidies. The system remains functional and profitable after 25 years, demonstrating strong long-term viability and scalability.

From a legal standpoint, the installation complies with regional and national regulations. Extremadura, in particular, provides a favorable framework for rural self-consumption projects on agricultural land, strengthening the project's regulatory feasibility.

However, one of the main limitations is the current inability to connect to the grid due to saturation of nearby interconnection points. This constraint prevents the design of a larger

system intended for energy export, which would be significantly more profitable. Should grid capacity become available in the future, a redesign for grid-connected operation is strongly recommended.

Conclusions

This project demonstrates that a properly sized agrivoltaic system can autonomously cover the energy needs of an irrigated agricultural operation. It also contributes to reducing environmental impact, improving water efficiency, and promoting the electrification of farm operations—all without sacrificing the land's primary agricultural function.

While profitability is moderate, it remains positive even under conservative assumptions. Financial performance could be further enhanced through the inclusion of public subsidies or future access to the electricity grid. Agrivoltaics is therefore established as a strategic solution for rural areas with high solar irradiance and strong agricultural tradition, such as Extremadura.

Índice de la memoria

| | |
|--|-----------|
| Capítulo 1. Introducción | 8 |
| 1.1 Motivación | 8 |
| 1.2 Justificación del proyecto..... | 9 |
| 1.3 Objetivos | 10 |
| 1.4 Alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)..... | 12 |
| Capítulo 2. Descripción de las Tecnologías..... | 14 |
| 2.1 System Advisor model | 14 |
| 2.2 Microsoft Excel..... | 14 |
| 2.3 Zotero | 15 |
| Capítulo 3. Estado de la Cuestión..... | 16 |
| 3.1. Definición y conceptos básicos de la agrovoltaica | 16 |
| 3.2. Proyectos agrovoltaicos en España..... | 17 |
| 3.3. Investigaciones y desarrollos recientes..... | 18 |
| 3.4. Retos y oportunidades..... | 19 |
| Capítulo 4. Contexto regional: Extremadura..... | 20 |
| 4.1 Descripción del terreno | 20 |
| 4.1.1 Identificación de la parcela..... | 20 |
| 4.1.2 Clasificación y uso | 20 |
| 4.1.3 Características del suelo..... | 21 |
| 4.2 Clima y condiciones locales..... | 22 |
| 4.2.1 Precipitaciones..... | 22 |
| 4.2.2 Lluvia..... | 23 |
| 4.2.3 Temperatura promedio..... | 24 |
| 4.2.4 Sol..... | 25 |
| 4.2.5 Humedad | 26 |
| 4.2.6 Viento | 26 |
| Capítulo 5. Estudio de viabilidad técnica | 28 |
| 5.1 compatibilidad con cultivos | 28 |
| 5.1.1 Requerimientos para el desarrollo de los cultivos..... | 28 |
| 5.1.2 Gestión del agua..... | 29 |
| 5.2 Tecnología fotovoltaica..... | 31 |

| | | |
|---|--|-----------|
| 5.2.1 | Conexión a la red y venta de excedentes..... | 31 |
| 5.2.2 | Cálculo del consumo anual estimado..... | 33 |
| 5.3 | Simulación del rendimiento energético con SAM..... | 34 |
| 5.3.1 | Parámetros de entrada..... | 35 |
| 5.3.2 | Resultados de la simulación..... | 38 |
| 5.3.3 | Balance mensual entre producción fotovoltaica y demanda energética..... | 40 |
| 5.4 | Degradación y vida útil..... | 41 |
| 5.5 | Conclusiones del capítulo..... | 43 |
| Capítulo 6. Aspectos legales y normativos..... | | 45 |
| 6.1 | Introducción..... | 45 |
| 6.2 | Normativa de la Unión Europea (UE)..... | 45 |
| 6.3 | Normativa Nacional..... | 46 |
| 6.4 | Normativa Regional (Extremadura)..... | 47 |
| 6.5 | Tiempo de tramitación..... | 48 |
| 6.5.1 | Evaluación técnica y urbanística inicial..... | 48 |
| 6.5.2 | Autorización Ambiental Unificada (AAU) o Declaración de Impacto Ambiental (DIA)..... | 48 |
| 6.5.3 | Licencia de obras y actividad..... | 49 |
| 6.5.4 | Registro de la instalación en el RAAC (Autoconsumo)..... | 49 |
| 6.5.5 | Legalización de la instalación eléctrica..... | 49 |
| 6.5.6 | Comunicación de puesta en servicio..... | 50 |
| 6.5.7 | Resumen fases tramitación..... | 50 |
| 6.6 | Riesgos legales y administrativos..... | 52 |
| 6.7 | Conclusiones del capítulo..... | 53 |
| Capítulo 7. Estudio de viabilidad económica..... | | 55 |
| 7.1 | Introducción..... | 55 |
| 7.2 | Estimación de inversión..... | 55 |
| 7.3 | Gastos operativos y parámetros económicos..... | 58 |
| 7.3.1 | Gastos operativos (OPEX)..... | 58 |
| 7.4 | Parámetros económicos del proyecto..... | 59 |
| 7.5 | Amortización de la inversión y coste nivelado de la electricidad (LCOE)..... | 64 |
| 7.6 | Indicadores de rentabilidad del proyecto..... | 66 |
| 7.7 | Conclusiones del análisis de viabilidad económica..... | 70 |
| Capítulo 8. Posibles subvenciones..... | | 72 |
| 8.1 | Ayudas a nivel europeo..... | 72 |

| | |
|--|-------------------------------|
| 8.1.1 Fondo Next Generation EU..... | 72 |
| 8.1.2 Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural (FEADER) | 73 |
| 8.2 Ayudas a nivel nacional | 73 |
| 8.2.1 Programa de incentivos al autoconsumo y almacenamiento (RD 477/2021)..... | 73 |
| 8.2.2 Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR)..... | 74 |
| 8.3 Ayudas a nivel regional (Extremadura) | 74 |
| 8.3.1 Subvenciones a inversiones en energías renovables..... | 74 |
| 8.3.2 Programa de modernización de explotaciones agrarias (PAC Extremadura)..... | 75 |
| 8.4 Conclusiones del capítulo | 75 |
| Capítulo 9. Análisis de Resultados..... | 77 |
| 9.1 Resultados técnicos | ¡Error! Marcador no definido. |
| 9.2 Resultados económicos | 77 |
| 9.3 Resultados legales y administrativos | 78 |
| 9.4 Limitaciones y riesgos | 80 |
| 9.5 Valoración global..... | 81 |
| Capítulo 10. Conclusiones y Trabajos Futuros..... | 83 |
| 10.1 Conclusiones generales | 83 |
| 10.2 Trabajos futuros | 84 |
| Capítulo 11. Bibliografía..... | 86 |
| ANEXO I | 89 |

Índice de figuras

| | |
|---|---|
| Ilustración 1: Esquema del sistema agrovoltaico utilizado | 5 |
| Ilustración 2: Graphic | 8 |

Índice de imágenes

| | |
|---|----|
| Imagen 1: Parcela 06044A203050070000MK | 20 |
| Imagen 2: Probabilidad de precipitaciones en Don Benito (Weatherspark) | 23 |
| Imagen 3: Lluvias en Don Benito (Weatherspark) | 24 |
| Imagen 4: Temperatura promedio en Don Benito (Weatherspark) | 24 |
| Imagen 5: Elevación del sol y acimut en Don Benito (Weatherspark) | 25 |
| Imagen 6: Nivel de humedad en Don Benito (Weatherspark) | 26 |
| Imagen 7: Orientación del viento por meses en Don Benito (Weatherspark) [9] | 26 |
| Imagen 8: Velocidad del viento por meses en Don Benito (Weatherspark) | 26 |
| Imagen 9: Capacidad de acceso (Iberdrola) | 32 |

Índice de tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1: Proyectos actuales Agrovoltaica en España [2] | 18 |
| Tabla 2: Estimación de consumo de agua con instalación agrovoltaica..... | 30 |
| Tabla 3: Estimación de consumo anual | 34 |
| Tabla 4: Parámetros de entrada para simulación con SAM..... | 38 |
| Tabla 5: Resultados obtenidos en SAM | 39 |
| Tabla 6: Déficit anual de energía no cubierta..... | 63 |
| Tabla 7: Resumen de posibles subvenciones..... | 76 |

Índice de ecuaciones

| | |
|--|----|
| Ecuación 1: Potencia demandada por el riego por goteo en kW | 33 |
| Ecuación 2: caudal requerido por la plantación de tomates | 33 |
| Ecuación 3: Potencia requerida para el riego de tomates | 33 |
| Ecuación 4: Caudal requerido para riego de acelgas | 34 |
| Ecuación 5: Potencia requerida para riego de acelgas..... | 34 |
| Ecuación 6: Factor de generación tras 25 años..... | 42 |
| Ecuación 7: Potencia instalada | 56 |
| Ecuación 8: Costes directos | 56 |
| Ecuación 9: Costes indirectos..... | 57 |
| Ecuación 10: Inmovilizado | 57 |
| Ecuación 11: Inversión total sin tractor | 57 |
| Ecuación 12: Inversión total con tractor..... | 57 |
| Ecuación 13: Costes de Operación y Mantenimiento..... | 59 |
| Ecuación 14: Consumo anual de gasolina evitado | 61 |
| Ecuación 15: Coste anual evitado por electrificación del tractor | 61 |
| Ecuación 16: Volumen de agua ahorrado..... | 62 |
| Ecuación 17: Ahorro anual de agua por baja de consumo | 62 |
| Ecuación 18: Coste medio anual por déficit de energía | 64 |
| Ecuación 19: Factor de amortización | 64 |
| Ecuación 20: Amortización anual..... | 64 |
| Ecuación 21: Factor de acumulación..... | 65 |
| Ecuación 22: Cálculo de LCOE..... | 66 |
| Ecuación 23: Flujo de caja neto anual | 66 |
| Ecuación 24: Cálculo de VAN | 67 |
| Ecuación 25: Cálculo de TIR..... | 68 |
| Ecuación 26: Cálculo del periodo de retorno | 69 |

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

1.1 MOTIVACIÓN

El mundo enfrenta una crisis ambiental sin precedentes, impulsada por el cambio climático, la degradación de los ecosistemas y la sobreexplotación de los recursos naturales. La sostenibilidad se ha convertido en un objetivo global inaplazable, y uno de los mayores desafíos es reducir nuestra dependencia de los combustibles fósiles para avanzar hacia modelos energéticos más limpios y sostenibles.

En este contexto, las energías renovables, como la solar, la eólica y la hidráulica, han emergido como alternativas esenciales para mitigar el calentamiento global y garantizar un suministro energético sostenible. Sin embargo, su expansión trae consigo nuevos retos, como la optimización del uso del suelo. La creciente demanda de terrenos para instalaciones solares y eólicas genera una competencia con la agricultura, actividad clave para la seguridad alimentaria y el desarrollo rural.

Extremadura, con su elevada radiación solar, vastas extensiones de terreno y fuerte tradición agrícola, se posiciona como un escenario ideal para la implementación de soluciones innovadoras que equilibren la producción de energía y el aprovechamiento agrícola. En este sentido, la agrovoltaica surge como una estrategia clave, permitiendo la integración de paneles solares con cultivos agrícolas para optimizar el uso del espacio, reducir la evaporación del agua y generar beneficios tanto energéticos como agronómicos.

Este Trabajo de Fin de Grado analiza la viabilidad de una instalación agrovoltaica en Extremadura, explorando cómo este enfoque puede contribuir a la transición hacia un modelo más sostenible, donde la generación de energía limpia y la producción agrícola no solo coexistan, sino que se complementen en beneficio del medioambiente y la economía local.

1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto agrovoltaico que se propone en este trabajo responde a una necesidad urgente en el sector agrícola y energético, ya que busca abordar simultáneamente dos de los mayores desafíos globales actuales: el cambio climático y la seguridad alimentaria. La motivación de este proyecto surge a partir de la observación de que, aunque la energía solar es una de las alternativas más prometedoras para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, su implementación en tierras agrícolas podría generar conflictos con la producción de alimentos. Sin embargo, la agrovoltaica ofrece una solución innovadora que permite la coexistencia de ambos usos en un mismo espacio, optimizando el aprovechamiento de la tierra sin comprometer la capacidad productiva agrícola.

El avance de la agrovoltaica se justifica principalmente en tres aspectos técnicos y de mercado clave:

1. Necesidad de maximizar el uso del suelo agrícola → La agricultura y la energía solar compiten por el mismo recurso limitado: la tierra. Este proyecto responde a la creciente demanda de encontrar soluciones sostenibles que permitan aprovechar el espacio de manera más eficiente. A través de la implementación de paneles solares en terrenos agrícolas, es posible generar energía renovable sin sacrificar la producción de cultivos, lo que abre la puerta a una forma de agricultura más rentable y ecológica.
2. Tendencia hacia la transición energética y la sostenibilidad → En un contexto global donde la transición energética es un objetivo prioritario, las energías renovables, en particular la solar, juegan un papel crucial en la descarbonización de la economía. La agrovoltaica ofrece un modelo de doble aprovechamiento del terreno que permite producir energía limpia mientras se mantiene la actividad agrícola, apoyando el movimiento hacia la sostenibilidad tanto en el sector energético como en el agrícola.
3. Rentabilidad económica y competitividad → La agrovoltaica permite a los agricultores generar una fuente de ingresos adicional a través de la venta de energía solar, al mismo tiempo que optimizan el uso de los recursos naturales. Además, en

regiones como Extremadura, donde el sol es abundante, este tipo de instalación ofrece una rentabilidad a largo plazo, tanto para el agricultor como para la comunidad en general. Además, la reducción de costes operativos mediante el autoconsumo de energía solar y el ahorro en el uso de agua gracias a la sombra de los paneles posiciona a este proyecto como una solución atractiva para aquellos interesados en el sector agrícola y en la energía renovable.

La justificación técnica del proyecto está claramente alineada con las tendencias globales hacia la agricultura sostenible y la energía limpia. Por lo tanto, el desarrollo de este proyecto no solo responde a una necesidad creciente en el mercado, sino que también posiciona a quienes lo implementen en la vanguardia de una industria que está marcando el futuro de la producción energética y agrícola. La agrovoltaica es una inversión con gran potencial de crecimiento, no solo por sus ventajas medioambientales y sociales, sino también por su capacidad para generar beneficios económicos y mejorar la eficiencia en la producción de alimentos y energía.

Este proyecto es, por lo tanto, una oportunidad tanto para el sector agrícola como para el sector energético de colaborar y avanzar hacia un futuro más sostenible y rentable, ofreciendo soluciones prácticas y escalables que pueden aplicarse en diversas regiones con características climáticas similares.

1.3 OBJETIVOS

El presente Trabajo Fin de Grado tiene como objetivo principal analizar la viabilidad de la implementación de una instalación agrovoltaica en un terreno ubicado en Extremadura. Este tipo de instalación combina la producción de energía fotovoltaica con el uso agrícola del suelo, permitiendo optimizar el aprovechamiento de los recursos disponibles y contribuir a la sostenibilidad del sector agroindustrial. Para ello, se han definido los siguientes objetivos específicos:

- **Análisis de viabilidad técnica:** Evaluar los aspectos técnicos necesarios para la instalación agrovoltaica, incluyendo el diseño del sistema fotovoltaico, la

compatibilidad con las actividades agrícolas y las condiciones climáticas y geográficas de la región. Se analizarán distintos tipos de configuraciones y tecnologías disponibles, considerando factores como la orientación de los paneles solares, la posible reducción de la radiación solar sobre los cultivos y la eficiencia energética del sistema.

- **Análisis de viabilidad económica:** Estudiar la rentabilidad del proyecto a través de un análisis detallado de costes e ingresos. Se tendrán en cuenta la inversión inicial requerida, los costos de mantenimiento y operación, así como las posibles fuentes de financiación y el retorno de inversión estimado. Además, se realizarán comparaciones con otros modelos de producción agrícola y energética para valorar su competitividad en el mercado.
- **Análisis del marco legal y normativo:** Examinar la legislación vigente en materia de energías renovables y uso del suelo en Extremadura, con el fin de garantizar que el proyecto cumpla con todos los requisitos legales y normativos aplicables. Se estudiarán normativas a nivel local, autonómico y nacional que regulen tanto la instalación de plantas fotovoltaicas como su convivencia con actividades agrícolas, así como las posibles restricciones ambientales que puedan afectar al desarrollo del proyecto.
- **Identificación de posibles subvenciones y ayudas:** Investigar las diferentes ayudas y subvenciones disponibles a nivel regional, nacional y europeo que puedan contribuir a la financiación del proyecto y mejorar su viabilidad económica. Se evaluarán programas de incentivos públicos, líneas de financiación específicas para energías renovables y desarrollo rural, así como posibles colaboraciones con entidades privadas o instituciones de investigación que impulsen el desarrollo de soluciones innovadoras en el ámbito agrovoltaico.

Con el cumplimiento de estos objetivos, se pretende ofrecer una visión integral sobre la factibilidad del proyecto agrovoltaico en la región, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones en su posible implementación. Este análisis permitirá identificar los beneficios y desafíos asociados a la integración de la energía solar en el sector agrícola,

fomentando un modelo productivo más sostenible y eficiente en el uso de los recursos naturales.

1.4 ALINEACIÓN CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS)

Este proyecto está alineado con varios Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) definidos por la Agenda 2030 de las Naciones Unidas. A continuación, se destacan los principales ODS a los que contribuye este proyecto y su impacto específico

ODS 7: Energía Asequible y No Contaminante

Este proyecto promueve el uso de energía solar fotovoltaica, una fuente de energía limpia, renovable y accesible, que contribuye a reducir la dependencia de combustibles fósiles y a aumentar la proporción de energía renovable. Contribución:

- Incrementa la generación de energía renovable en Extremadura.
- Favorece la electrificación rural sostenible.

ODS 8: Trabajo Decente y Crecimiento Económico

La instalación agrovoltaica tiene el potencial de diversificar la actividad económica en zonas rurales, generando nuevas oportunidades de empleo en sectores como la agricultura sostenible, la energía renovable y el mantenimiento de infraestructuras tecnológicas. Contribución:

- Fomenta la creación de empleo en el medio rural.
- Promueve un crecimiento económico sostenible en áreas con alto riesgo de despoblación.

ODS 12: Producción y Consumo Responsables

La integración de sistemas agrovoltaicos optimiza el uso del suelo al combinar la producción agrícola y energética, promoviendo prácticas de producción más eficientes y sostenibles. Contribución:

- Mejora la eficiencia en el uso de recursos naturales como el suelo, el agua y la energía.
- Promueve la agricultura sostenible con menor impacto ambiental.

ODS 13: Acción por el Clima

El proyecto contribuye a la mitigación del cambio climático al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero mediante la generación de energía limpia y la implementación de prácticas agrícolas sostenibles que protegen el suelo y la biodiversidad.

Contribución:

- Disminuye las emisiones de CO₂ a través de la generación solar.
- Ayuda a crear sistemas agrícolas más resilientes frente a eventos climáticos extremos.

ODS 15: Vida de Ecosistemas Terrestres

La instalación agrovoltaica puede integrarse de manera armoniosa con el entorno natural, fomentando la biodiversidad a través del uso de cubiertas vegetales, la protección del suelo frente a la erosión y la creación de hábitats para polinizadores. Contribución:

- Conserva la biodiversidad local y mejora la salud del suelo.
- Reduce la degradación del suelo en zonas semiáridas como Extremadura.

Capítulo 2. DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS

Para el desarrollo de este proyecto, es fundamental contar con herramientas especializadas que permitan la evaluación y análisis de la viabilidad de una instalación agrovoltaica. En este capítulo se describen las principales tecnologías y herramientas utilizadas, proporcionando una base conceptual que facilite la comprensión de los resultados obtenidos.

2.1 SYSTEM ADVISOR MODEL

Para el análisis técnico de la instalación fotovoltaica planteada en este Trabajo de Fin de Grado se utilizará el software **System Advisor Model (SAM)**, desarrollado por el *National Renewable Energy Laboratory (NREL)*. SAM permite modelar el rendimiento energético de sistemas solares fotovoltaicos con un alto nivel de detalle, teniendo en cuenta variables como la ubicación geográfica, condiciones meteorológicas, orientación e inclinación de los módulos, pérdidas eléctricas y características de los componentes (módulos, inversores, etc.). Además, facilita la simulación horaria de la producción energética a lo largo del año, lo que permite obtener resultados precisos sobre la generación estimada y evaluar el comportamiento del sistema bajo diferentes configuraciones.

2.2 MICROSOFT EXCEL

Microsoft Excel es una herramienta clave para el procesamiento, análisis y visualización de datos. Su flexibilidad permite la creación de modelos de cálculo que facilitan la interpretación de los resultados obtenidos en el estudio.

En este proyecto, Excel se utilizará especialmente para el análisis económico de la instalación agrovoltaica, permitiendo evaluar la rentabilidad del sistema mediante el cálculo de indicadores financieros como el VAN (Valor Actual Neto), el TIR (Tasa Interna de Retorno) y el periodo de recuperación de la inversión.

Además, Excel facilitará:

- La organización y tratamiento de datos climáticos y de producción energética.
- El análisis de costos asociados a la instalación y operación del sistema.
- La representación gráfica de los resultados obtenidos para su interpretación.

2.3 ZOTERO

Para la gestión de las referencias bibliográficas se ha utilizado Zotero, una herramienta gratuita y de código abierto que permite organizar, citar y generar bibliografía de manera eficiente. Su integración con procesadores de texto como Microsoft Word ha facilitado la inserción automática de citas en el cuerpo del documento y la creación de un listado de referencias final conforme al estilo elegido. Además, Zotero ha permitido mantener una base de datos ordenada con todas las fuentes consultadas a lo largo del proyecto, lo que ha contribuido a mejorar la trazabilidad y el rigor documental del trabajo.

Capítulo 3. ESTADO DE LA CUESTIÓN

En este capítulo se examinan las soluciones existentes en el ámbito de la agrovoltaica, analizando proyectos e investigaciones relevantes que combinan la producción agrícola con la generación de energía solar. Esta revisión permitirá contextualizar el presente proyecto y justificar su pertinencia en el panorama actual.

3.1. DEFINICIÓN Y CONCEPTOS BÁSICOS DE LA AGROVOLTAICA

La energía agrovoltaica consta de aprovechar una misma superficie de terreno para dos funciones fundamentales: obtener energía solar y producir productos agrícolas. Esta técnica fue concebida originalmente por Adolf Goetzberger y Armin Zastrow en 1981, pero el concepto no comenzó a popularizarse hasta hace pocos años. [1]

La sombra proyectada por los paneles solares sobre los cultivos puede influir en su productividad al reducir ligeramente la cantidad de luz que reciben. Sin embargo, en algunos casos, esta menor exposición solar puede ser beneficiosa para determinados cultivos que prosperan en condiciones de sombra parcial. Además, la generación de energía compensa esta posible disminución en la producción agrícola.

El uso de energía solar en zonas agrícolas también favorece el autoconsumo fotovoltaico, permitiendo que las propias explotaciones cubran sus necesidades energéticas con la electricidad generada in situ. Además, la agrovoltaica está muy vinculada al smart farming, un concepto que optimiza el rendimiento agrícola mediante tecnologías avanzadas como la inteligencia artificial, el big data y el Internet de las Cosas (IoT). Este enfoque, a su vez, impulsa el desarrollo de los pueblos inteligentes (smart villages), promoviendo la digitalización y la sostenibilidad en las comunidades rurales. [1]

3.2. PROYECTOS AGROVOLTAICOS EN ESPAÑA

En Europa hay 15 GW de potencia instalada de este tipo de tecnología. Se trata de más de 200 proyectos que combinan paneles fotovoltaicos con agricultura y se distribuyen en 10 países de la región, según el mapa “agrisolar” digital publicado por SolarPower Europe. [2]

En España, la agrovoltaica ha comenzado a ganar relevancia, registrándose varios proyectos que combinan instalaciones fotovoltaicas con actividades agrícolas. Según datos recientes, existen 14 proyectos de este tipo que suman una potencia total de 1.251,6 MW. En la Tabla2 se muestran dichos proyectos. [2]

| <i>Proyecto</i> | <i>MW</i> | <i>Promotor</i> | <i>Tecnología</i> | <i>Comunidad Autónoma</i> |
|----------------------|-----------|-----------------|---|---------------------------|
| Vendimia | 247 | Lightsource bp | Fotovoltaico montado en el suelo y pastoreo de ovejas | Aragón |
| Torrubia | 49,0 | Lightsource bp | Fotovoltaico montado en el suelo y pastoreo de ovejas | Aragón |
| PV revilla-vallejera | 50,0 | Iberdrola | PV entre hileras con cultivos de setas y trufas | Castilla y León |
| Hierros y predios | 155,0 | Statkraft | PV entre hileras y pastoreo de ovejas | Comunidad Valenciana |
| Statkraft | 155,0 | Statkraft | PV entre hileras con cultivos | Comunidad Valenciana |
| Talayuela 2 | 49,0 | Statkraft | PV entre hileras con cultivos | Extremadura |
| Alhendín | 54,1 | BayWa r.e | Fotovoltaico montado en el suelo con cultivo de Heno | Andalucía |
| Archidona | 56,3 | BayWa r.e | Fotovoltaico montado en el suelo con pastoreo de ovejas | Andalucía |
| Íllora | 147,7 | BayWa r.e | Fotovoltaico montado en el suelo con pastoreo de ovejas | Andalucía |
| Don rodrigo I | 174,1 | BayWa r.e | Fotovoltaico montado en el suelo con pastoreo de ovejas | Andalucía |

| | | | | |
|------------------|-------|---|---|--------------------|
| Tordesillas I&II | 41,7 | BayWa r.e | Fotovoltaico montado en el suelo con pastoreo de ovejas | Castilla y León |
| Poblete | 20,1 | BayWa r.e | Fotovoltaico montado en el suelo con pastoreo de ovejas | Castilla La Mancha |
| Picon | 49,6 | BayWa r.e | Fotovoltaico montado en el suelo con pastoreo de ovejas | Castilla La Mancha |
| Winesolar | 41 KW | Viñedos del Río Tajo Avvale,PV Hardware,Iberdrola | PV entre hileras; Viñedo | Castilla La Mancha |

Tabla 1: Proyectos actuales Agrovoltaica en España [2]

3.3. INVESTIGACIONES Y DESARROLLOS RECIENTES

En España se están desarrollando diversos proyectos experimentales que exploran la integración entre agricultura y generación de energía solar como vía para avanzar hacia una producción agroalimentaria más eficiente y sostenible.

Uno de estos proyectos está siendo liderado por el Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Medioambiental (IMIDA), perteneciente a la Consejería de Agua, Agricultura, Ganadería y Pesca de la Región de Murcia. El ensayo, llevado a cabo por el Equipo de Sostenibilidad y Calidad Hortofrutícola en el Centro de Demostración y Transferencia Tecnológica ‘El Mirador’ (San Javier), tiene como objetivo evaluar la compatibilidad entre cultivos y paneles fotovoltaicos en un mismo terreno. [3]

Este estudio, que se extenderá desde el 1 de enero de 2023 hasta el 31 de diciembre de 2027, analiza los efectos del sistema agrovoltaico tanto sobre la productividad agrícola como sobre el entorno natural. El proyecto está financiado con más de 1,1 millones de euros, procedentes del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) y la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. Según el director del IMIDA, Andrés Martínez Bastida, aunque el foco principal está en maximizar el rendimiento agrario, también se busca que los agricultores puedan beneficiarse económicamente de la producción energética sin comprometer los cultivos. [3]

Otro ejemplo destacado es el proyecto Interreg Europa EAGER, una iniciativa internacional en la que participan el Centro Tecnológico Itagra y la Diputación de Palencia, junto con entidades de diversos países europeos como Alemania, Italia, Ucrania o Lituania. El objetivo general del proyecto es mejorar las políticas públicas vinculadas a la agrovoltaica, favoreciendo su implementación como solución sostenible para el uso dual del suelo. [4]

En el marco de EAGER, se han celebrado jornadas informativas como la organizada en Palencia, donde expertos han presentado casos de éxito y experiencias prácticas en distintas regiones. Estas actividades sirven para diagnosticar el estado actual de la agrovoltaica en Europa, detectar buenas prácticas y generar propuestas que faciliten su integración a escala regional y nacional. El proyecto está previsto que se desarrolle entre abril de 2024 y junio de 2028, con un presupuesto total de 2.440.007 euros financiado por fondos europeos. [4]

3.4. RETOS Y OPORTUNIDADES

A pesar de los avances, la implementación de sistemas agrovoltaicos enfrenta desafíos, como la necesidad de un marco legislativo claro que defina criterios y prioridades para su desarrollo sostenible. Asimismo, es crucial llevar a cabo investigaciones que determinen las combinaciones óptimas de cultivos y sistemas fotovoltaicos, garantizando así la viabilidad económica y ambiental de estos proyectos.

No obstante, las oportunidades que ofrece la agrovoltaica son significativas, especialmente en regiones con alta irradiación solar y tradición agrícola, como Extremadura. La posibilidad de combinar la producción de energía limpia con actividades agrícolas tradicionales puede impulsar el desarrollo rural, mejorar la eficiencia en el uso del suelo y contribuir a la sostenibilidad ambiental.

Capítulo 4. CONTEXTO REGIONAL: EXTREMADURA

4.1 DESCRIPCIÓN DEL TERRENO

4.1.1 IDENTIFICACIÓN DE LA PARCELA

Referencia Catastral: 06044A203050070000MK

Polígono: 203

Parcela: 5007

Ubicación: Finca situada en la zona de "El Bodegón", Don Benito, Badajoz, Extremadura.

Clase del Suelo: Rústico

Uso Principal: Agrario

Superficie Gráfica Total: 175.358 m²



Imagen 1: Parcela 06044A203050070000MK

4.1.2 CLASIFICACIÓN Y USO

La parcela tiene una superficie gráfica de 175.358 m² (17,54 hectáreas), con una distribución en dos subparcelas:

Subparcela **a** → Dedicada a cultivo de labor o labrado regadío, con una superficie de 165.296 m².

Subparcela **d** → Utilizada para pastos, con una superficie de 10.062 m².

4.1.3 CARACTERÍSTICAS DEL SUELO

El terreno objeto de estudio se encuentra clasificado como suelo rústico, lo que implica que su uso está destinado principalmente a actividades agrícolas, ganaderas, forestales o de conservación medioambiental. Esta clasificación está regulada por la legislación urbanística española, que restringe la urbanización en estos terrenos para preservar su valor productivo y ecológico. [5]

Los suelos predominantes en la región son francos, franco-arcillosos y franco-arenosos, los cuales presentan características relevantes para el desarrollo del proyecto agrovoltaico:

- **Capacidad de drenaje:** Los suelos francos y franco-arenosos presentan una buena capacidad de drenaje, lo que facilita la evacuación del exceso de agua y reduce el riesgo de encharcamiento. En el caso de los suelos franco-arcillosos, la capacidad de drenaje es moderada, lo que requiere una adecuada planificación del riego para evitar acumulaciones de humedad que puedan afectar a los cultivos y a la estabilidad de las estructuras fotovoltaicas. [6]
- **Resistencia a la compactación:** Los suelos francos y franco-arenosos tienen una resistencia moderada a la compactación, lo que favorece el crecimiento radicular de los cultivos y permite la instalación de infraestructuras sin afectar significativamente la calidad del suelo. En cambio, los suelos franco-arcillosos pueden ser más susceptibles a la compactación si no se implementan técnicas adecuadas de manejo y conservación del suelo. [7]
- **Protección ambiental:** Estos suelos tienen una composición equilibrada de minerales y materia orgánica, lo que les permite mantener un buen nivel de fertilidad y contribuir a la sostenibilidad del ecosistema agrícola. Además, su estructura facilita la retención de nutrientes esenciales para los cultivos, reduciendo la necesidad de

fertilización química y minimizando el impacto ambiental del proyecto agrovoltaico.[8]

- **Preservación del ecosistema:** La combinación de estos tipos de suelo con prácticas agrícolas sostenibles favorece la biodiversidad del entorno, permitiendo la coexistencia de diferentes especies vegetales y animales. La implementación del sistema agrovoltaico deberá considerar estrategias para minimizar el impacto sobre la fauna local y garantizar la conservación de la estructura del suelo a largo plazo. [8]

4.2 CLIMA Y CONDICIONES LOCALES

La finca está situada en la comarca de las Vegas Altas del Guadiana, que se caracteriza por un clima mediterráneo continentalizado con influencias atlánticas. Este clima presenta veranos largos, calurosos y secos, con temperaturas que superan fácilmente los 30°C en los meses de julio y agosto, mientras que los inviernos son suaves, aunque pueden presentarse heladas ocasionales. [9]

4.2.1 PRECIPITACIONES

Un día mojado es un día con por lo menos 1 milímetro de líquido o precipitación equivalente a líquido. La probabilidad de días mojados en Don Benito varía durante el año.

La temporada más mojada dura 8,4 meses, de 19 de septiembre a 1 de junio, con una probabilidad de más del 12 % de que cierto día será un día mojado. El mes con más días mojados en Don Benito es octubre, con un promedio de 6,2 días con por lo menos 1 milímetro de precipitación.

La temporada más seca dura 3,6 meses, del 1 de junio al 19 de septiembre. El mes con menos días mojados en Don Benito es julio, con un promedio de 0,7 días con por lo menos 1 milímetro de precipitación.

Entre los días mojados, distinguimos entre los que tienen solo lluvia, solo nieve o una combinación de las dos. El mes con más días con solo lluvia en Don Benito es octubre, con un promedio de 6,2 días. En base a esta categorización, el tipo más común de precipitación durante el año es solo lluvia, con una probabilidad máxima del 23 % en octubre. [9]

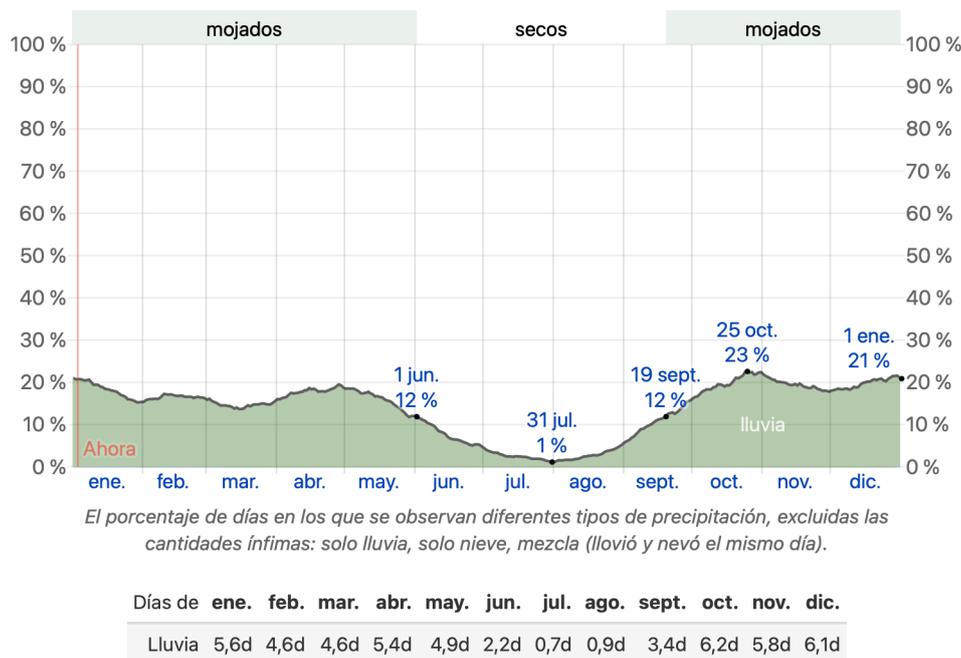


Imagen 2: Probabilidad de precipitaciones en Don Benito (Weatherspark)

4.2.2 LLUVIA

Don Benito tiene una variación considerable de lluvia mensual por estación. La temporada de lluvia dura 9,4 meses, del 5 de septiembre al 17 de junio, con un intervalo móvil de 31 días de lluvia de por lo menos 13 milímetros. El mes con más lluvia en Don Benito es noviembre, con un promedio de 55 milímetros de lluvia.

El periodo del año sin lluvia dura 2,6 meses, del 17 de junio al 5 de septiembre. El mes con menos lluvia en Don Benito es agosto, con un promedio de 4 milímetros de lluvia. [9]

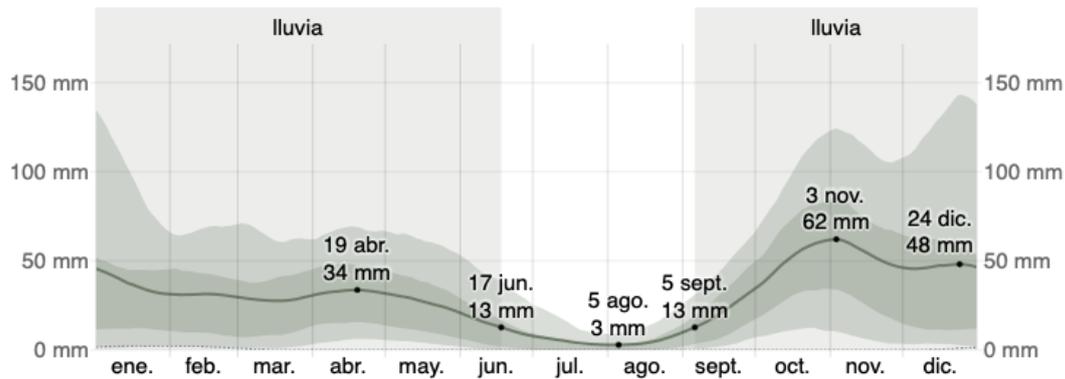


Imagen 3: Lluvias en Don Benito (Weatherspark)

4.2.3 TEMPERATURA PROMEDIO

La temporada calurosa dura 2,9 meses, del 13 de junio al 11 de septiembre, y la temperatura máxima promedio diaria es más de 30 °C. El mes más cálido del año en Don Benito es julio, con una temperatura máxima promedio de 34 °C y mínima de 19 °C.

La temporada fresca dura 3,6 meses, del 15 de noviembre al 4 de marzo, y la temperatura máxima promedio diaria es menos de 17 °C. El mes más frío del año en Don Benito es enero, con una temperatura mínima promedio de 3 °C y máxima de 13 °C. [9]

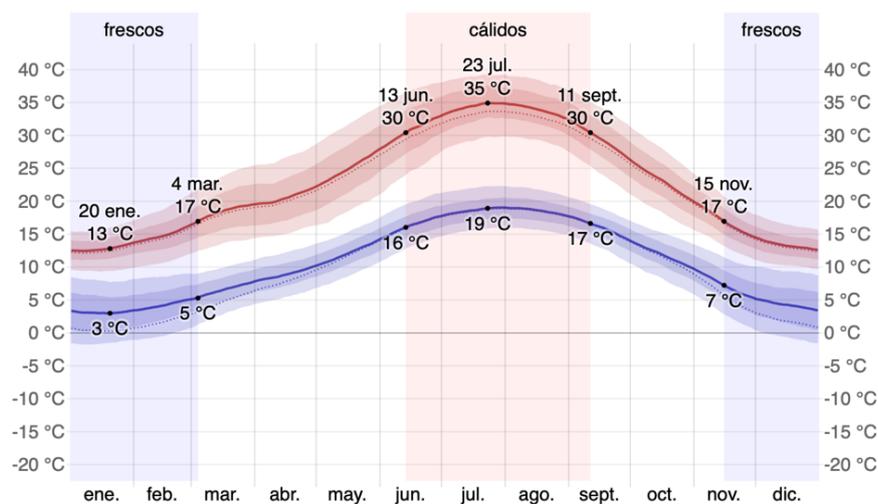


Imagen 4: Temperatura promedio en Don Benito (Weatherspark)

4.2.4 SOL

La duración del día en Don Benito varía considerablemente durante el año. En 2025, el día más corto es el 21 de diciembre, con 9 horas y 26 minutos de luz natural; el día más largo es el 21 de junio, con 14 horas y 54 minutos de luz natural.

La imagen de abajo es una representación compacta de la elevación del sol (el ángulo del sol sobre el horizonte) y el acimut (la orientación en la brújula) para cada hora del día del periodo que se reporta. El eje horizontal es el día del año y el eje vertical es la hora del día. En un día dado y a cierta hora de ese día, el color de fondo indica el acimut del sol en ese momento. Las isolíneas negras son el contorno de elevación solar constante y el número que aparece es el ángulo del sol sobre el horizonte, en grado. [9]

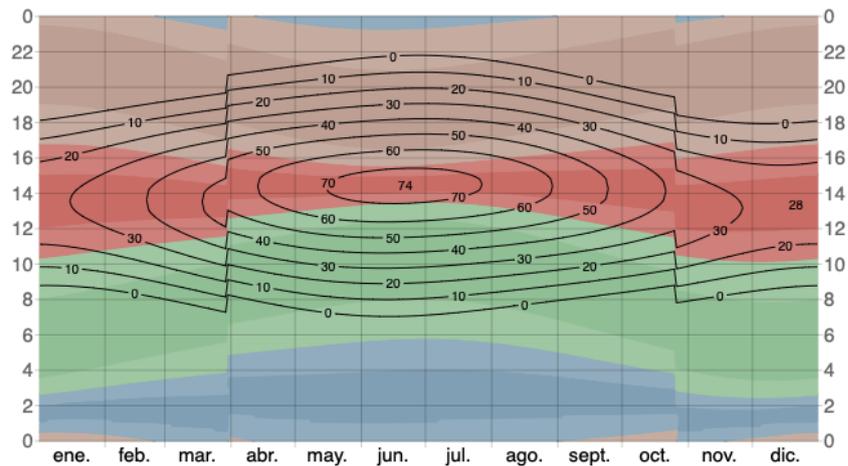


Imagen 5: Elevación del sol y acimut en Don Benito (Weatherspark)

4.2.5 HUMEDAD

El nivel de humedad percibido en Don Benito no varía mucho durante el año, y permanece entre el 1 %. [9]

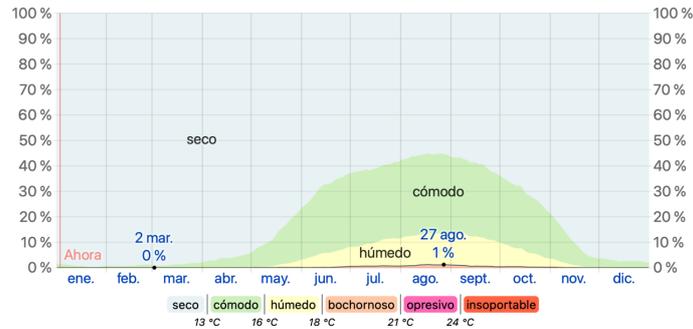


Imagen 6: Nivel de humedad en Don Benito (Weatherspark)

4.2.6 VIENTO

La velocidad promedio del viento por hora en Don Benito tiene variaciones estacionales leves en el transcurso del año.

La parte más ventosa del año dura 4,6 meses, del 15 de enero al 3 de junio, con velocidades promedio del viento de más de 12,3 kilómetros por hora. El mes más ventoso del año en Don Benito es abril, con vientos a una velocidad promedio de 13,1 kilómetros por hora.

El tiempo más calmado del año dura 7,4 meses, del 3 de junio al 15 de enero. El mes más calmado del año en Don Benito es septiembre, con vientos a una velocidad promedio de 11,3 kilómetros por hora. [9]

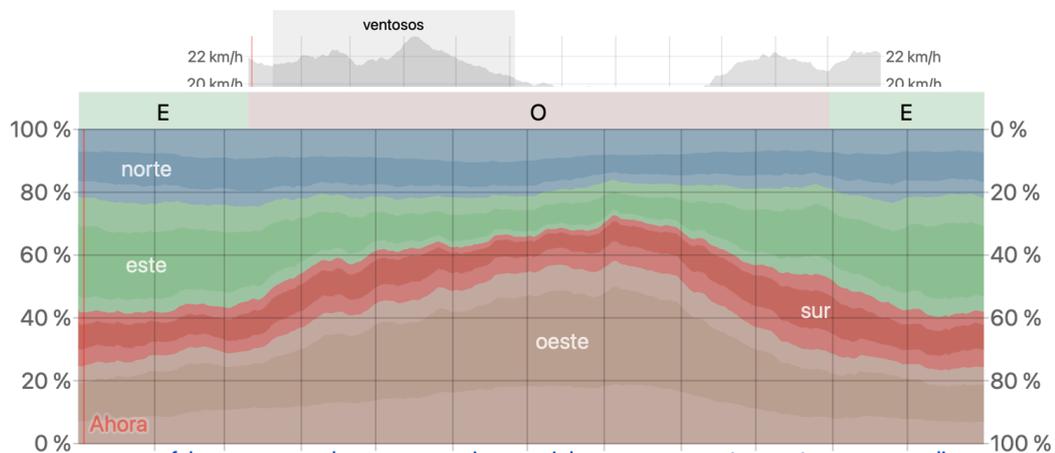


Imagen 7: Orientación del viento por meses en Don Benito (Weatherspark) [9]

El viento con más frecuencia viene del oeste durante 7,6 meses, del 10 de marzo al 30 de octubre, con un porcentaje máximo del 58 % en 5 de agosto. El viento con más frecuencia viene del este durante 4,4 meses, del 30 de octubre al 10 de marzo, con un porcentaje máximo del 36 % en 1 de enero. [9]

Capítulo 5. ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICA

5.1 COMPATIBILIDAD CON CULTIVOS

Actualmente, el terreno objeto de estudio se destina exclusivamente al cultivo de tomates. Sin embargo, con el objetivo de optimizar su aprovechamiento a lo largo del año, se ha decidido incorporar también la plantación de acelgas. Esta decisión se fundamenta en la compatibilidad de los calendarios de cultivo de ambas especies, lo que permite una rotación eficiente o incluso una combinación escalonada sin interferencias significativas en el uso del suelo.

Tanto el tomate como la acelga son cultivos especialmente adecuados para sistemas de agrovoltaica. Estos cultivos presentan una serie de características que los hacen compatibles con este tipo de sistemas: su tamaño moderado, la tolerancia parcial a la sombra y la necesidad de un microclima controlado para evitar el estrés térmico. La sombra proyectada por los paneles solares puede, en algunos casos, favorecer un entorno más estable y húmedo, reduciendo el consumo de agua y protegiendo las plantas de altas temperaturas, lo cual es beneficioso tanto para el tomate como para la acelga.

Este enfoque conjunto no solo permite diversificar la producción agrícola, sino también maximizar la eficiencia del terreno al integrar simultáneamente agricultura y producción energética sostenible.

5.1.1 REQUERIMIENTOS PARA EL DESARROLLO DE LOS CULTIVOS

El tomate es una especie hortícola que prospera en climas cálidos y soleados, pero resulta sensible a temperaturas extremas. Su desarrollo óptimo se produce dentro de un rango térmico de 18 a 27 °C. Cuando la temperatura desciende por debajo de los 10 °C, la germinación se ralentiza y las plantas se debilitan, mientras que temperaturas superiores a 35 °C pueden provocar una reducción en la producción y calidad del fruto, especialmente

si se acompañan de déficit hídrico [10]. Además, el tomate requiere una alta exposición solar, con al menos seis horas de luz directa diaria, aunque puede tolerar sombras moderadas de hasta un 30 %, lo que permite su compatibilidad con sistemas agrovoltaicos que proyectan sombra parcial. [11]

Por su parte, la acelga es un cultivo que muestra mejor tolerancia a temperaturas frescas y se adapta bien a climas templados. Su rango óptimo de desarrollo se sitúa entre 10 y 25 °C, y al tratarse de una planta de hoja, requiere menos intensidad lumínica que el tomate. Su resistencia al frío y su tolerancia a la sombra la hacen ideal para cultivarse en épocas o zonas donde el tomate no es viable, lo que permite prolongar el uso del terreno a lo largo del año y fomentar la rotación de cultivos. [12], [13]

Ambas especies presentan características que las hacen especialmente adecuadas para ser cultivadas bajo sistemas agrovoltaicos, que combinan la agricultura con la producción fotovoltaica. La sombra generada por los paneles solares puede ser beneficiosa para reducir el exceso de calor, minimizar la evaporación del agua y proteger las plantas frente a la radiación solar intensa. No obstante, un sombreado excesivo podría limitar la fotosíntesis y aumentar la humedad relativa, lo que favorece el desarrollo de enfermedades fúngicas. [14], [15]

Por tanto, resulta fundamental diseñar adecuadamente el sistema agrovoltaico: la altura de los paneles, su inclinación y disposición en el terreno deben asegurar una distribución equilibrada de luz. Asimismo, la selección de variedades tolerantes a luz variable y el uso de sensores climáticos que monitoricen el microclima local pueden optimizar tanto la producción agrícola como el rendimiento energético del sistema. [16]

5.1.2 GESTIÓN DEL AGUA

En la actualidad, el cultivo de tomate ocupa la totalidad del terreno (175.358 m²) durante la temporada de marzo a septiembre. Este uso genera un consumo anual de 82.028 m³ de agua. El cultivo de acelgas se realizará entre los meses de octubre a febrero para que no afecte al cultivo de tomates.

Según las recomendaciones agronómicas, el riego de la acelga debe realizarse cada 15-20 días, estableciendo un turno de riego de 20 días [17]. Considerando un ciclo de cultivo de 150 días (octubre a febrero), se realizarían aproximadamente 7,5 riegos durante este período. Si estimamos un volumen de riego de 30 mm (30 litros/m²) por aplicación, el consumo total por metro cuadrado sería:

$$\text{Consumo agua acelga} = 7,5 \text{ riegos} * 30 = 225 \left[\frac{L}{m^2} \right] = 0,225 \left[\frac{m^3}{m^2} \right]$$

$$\text{Consumo agua acelga total} = 175.358 \text{ m}^2 * 0,225 = 39.455,55 \left[\frac{m^3}{\text{año}} \right]$$

Teniendo en cuenta el consumo de agua para el riego de tomates y el estimado para acelgas obtenemos el consumo de agua total estimado al año.

$$\text{Consumo total agua} = 82.028 + 39.455,55 = 121.483,55 \left[\frac{m^3}{\text{año}} \right]$$

La sombra parcial proporcionada por los módulos fotovoltaicos elevados puede reducir la evapotranspiración, lo que contribuye a un menor consumo de agua. Diversos estudios han cuantificado este ahorro potencial entre el 10% y el 30% del consumo hídrico, dependiendo del tipo de cultivo, densidad de los paneles y condiciones climáticas. [14], [15], [16]

Tomando un valor conservador del 15 %:

$$\text{Ahorro estimado} = 0,15 * 121.483,55 = 18.222,5325 \left[\frac{m^3}{\text{año}} \right]$$

$$\text{Consumo total estimado} = 121.483,55 - 18.222,5325 = 103.261,02 \left[\frac{m^3}{\text{año}} \right]$$

| <i>Concepto</i> | <i>Volumen (m³/año)</i> |
|--|------------------------------------|
| Consumo actual (solo tomates) | 82.082 |
| Consumo estimado para acelgas | 39.455,55 |
| Consumo total sin agrovoltaica | 121.483,55 |
| Ahorro estimado por sombra agrovoltaica (15%) | 18.222,5325 |
| Consumo total estimado con agrovoltaica | 103.261,02 |

Tabla 2: Estimación de consumo de agua con instalación agrovoltaica

5.2 TECNOLOGÍA FOTOVOLTAICA

5.2.1 CONEXIÓN A LA RED Y VENTA DE EXCEDENTES

Durante el estudio del proyecto se ha evaluado la posibilidad de verter los excedentes de energía generada por la instalación agrovoltaica a la red eléctrica, como forma de mejorar la rentabilidad mediante su venta en el mercado eléctrico. Para ello se ha consultado la capacidad de acceso tanto en la red de transporte (a través del visor de Red Eléctrica de España) como en la red de distribución, mediante las herramientas de consulta de las principales distribuidoras en la zona: e-distribución (Endesa) e i-DE (Iberdrola). [18]

Tras comprobar el estado de los nudos eléctricos cercanos a la finca en Don Benito (Badajoz), se ha confirmado que no existe capacidad disponible para nuevas instalaciones de generación en ninguno de los puntos accesibles. Esta saturación impide técnicamente obtener un punto de conexión y, por tanto, descarta la viabilidad de inyectar energía a la red eléctrica.

Como consecuencia, el proyecto se plantea en modo autoconsumo total, orientando el diseño de la instalación y la gestión energética a maximizar el aprovechamiento local de la energía generada. Se explorarán, en los apartados siguientes, alternativas técnicas que permitan optimizar el uso de dicha energía para actividades agrícolas y posibles estrategias complementarias.

BADAJOS

| Identificador de la Subestación | Nivel de Tensión (kV) | Denominación del Punto de Conexión | Identificador del Punto de Conexión | Municipio | Coordenada X (m) (ETRS89) | Coordenada Y (m) (ETRS89) | Capacidad de acceso disponible (MW) | Capacidad de acceso ocupada (MW) | Capacidad de solicitudes admitidas pero no resueltas (MW) | | | Nudo limitado por Scc | Nudo de afección mayoritaria en la red de transporte |
|---------------------------------|-----------------------|------------------------------------|-------------------------------------|------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|---|--------|-------|-----------------------|--|
| | | | | | | | | | Fotovoltaico | Eólico | Otros | | |
| ST CASTUERA | 132 | CASTUERA 132.00 | 0023009052 | CASTUERA | 279970,16 | 4290419,37 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | No | VALDECABALLEROS 400 |
| ST CASTUERA | 45 | CASTUER2 45.000 | 0023045000 | CASTUERA | 279970,16 | 4290419,37 | 0,00 | 20,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | No | VALDECABALLEROS 400 |
| ST CASTUERA | 45 | CASTUERA 45.000 | 0023045001 | CASTUERA | 279970,16 | 4290419,37 | 0,00 | 20,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | No | VALDECABALLEROS 400 |
| ST DON BENITO | 132 | D.BENITO 132.00 | 0023004080 | DON BENITO | 252774,06 | 4314870,88 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | No | MERIDA 220 |
| ST DON BENITO | 45 | D.BENITO 45.000 | 0023045016 | DON BENITO | 252774,06 | 4314870,88 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | No | MERIDA 220 |
| ST DON BENITO | 45 | D.BENITO 45.000 | 0023045017 | DON BENITO | 252774,06 | 4314870,88 | 0,00 | 6,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | No | MERIDA 220 |
| ST DON BENITO | 45 | D.BENITO 45.000 | 0023045018 | DON BENITO | 252774,06 | 4314870,88 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | No | MERIDA 220 |

Imagen 9: Capacidad de acceso (Iberdrola)

5.2.2 CÁLCULO DEL CONSUMO ANUAL ESTIMADO

Para calcular el consumo energético anual de la instalación agrovoltaica, se han considerado los dos principales componentes eléctricos del sistema: el riego por goteo y el tractor eléctrico New Holland T4 Electric Power. A continuación, se detallan los pasos realizados. Para calcular la potencia en kWh que demanda el sistema de riego por goteo se han tenido los siguientes aspectos:

$$Potencia (kW) = \frac{Caudal \left(\frac{m^3}{h} \right) * presión (m. c. a.)}{Rendimiento * 367}$$

Ecuación 1: Potencia demandada por el riego por goteo en kW

Caudal → volumen de agua que se necesita bombear por hora.

Presión → la presión para riego por goteo suele ser de 1,2 bares (12 m.c.a.)

Rendimiento → eficiencia del sistema de bombeo (supuesto 70 %).

367 → constante de conversión para mantener las unidades coherentes.

Cultivo de tomates

Para el cultivo de tomate se demandan 65.561,5 m³ de agua durante los meses de marzo a septiembre (213 días). Teniendo en cuenta que el sistema funciona durante 8 horas al día se obtiene el siguiente caudal

$$Q_{tomates} = 65.561,5 [m^3] * \left(\frac{1}{213 \text{ días}} \right) * \left(\frac{1}{8 \text{ horas}} \right) = 35,33 \left[\frac{m^3}{h} \right]$$

Ecuación 2: caudal requerido por la plantación de tomates

$$Potencia \text{ para tomates} = \frac{35,33 * 12}{0,7 * 367} = 1,65 \text{ kW} * 8 \left(\frac{h}{\text{día}} \right) = 13,2 \text{ kWh}$$

Ecuación 3: Potencia requerida para el riego de tomates

Cultivo de acelgas

Para el cultivo de tomate se demandan 29.591,66 m³ de agua durante los meses de octubre a febrero (152 días). Teniendo en cuenta que el sistema funciona durante 8 horas al día se obtiene el siguiente caudal

$$Q_{acelgas} = 29.591,66 [m^3] * \left(\frac{1}{152 \text{ días}}\right) * \left(\frac{1}{8 \text{ horas}}\right) = 24,33 \left[\frac{m^3}{h}\right]$$

Ecuación 4: Caudal requerido para riego de acelgas

$$Potencia \text{ para } acelgas = \frac{24,33 * 12}{0,7 * 367} = 1,1365 \text{ kW} * 8 \left(\frac{h}{día}\right) = 9,09 \text{ kWh}$$

Ecuación 5: Potencia requerida para riego de acelgas

Se adjunta tabla del consumo total estimado por meses, que se utilizará para la simulación con SAM para la elección de la instalación fotovoltaica.

| | Riego tomates | Riego acelgas | Tractor | TOTAL |
|-------------------|---------------|------------------|----------------------|--------------------|
| enero | | 281,9 | 3410 | 3691,9 |
| febrero | | 254,6 | 3080 | 3334,6 |
| marzo | 409,3 | | 3410 | 3819,3 |
| abril | 396,1 | | 3300 | 3696,1 |
| mayo | 409,3 | | 3410 | 3819,3 |
| junio | 396,1 | | 3300 | 3696,1 |
| julio | 409,3 | | 3410 | 3819,3 |
| agosto | 409,3 | | 3410 | 3819,3 |
| septiembre | 396,1 | | 3300 | 3696,1 |
| octubre | | 281,9 | 3410 | 3691,9 |
| noviembre | | 272,8 | 3300 | 3572,8 |
| diciembre | | 281,9 | 3410 | 3691,9 |
| | | | Consumo anual | 44348,9 KWh |

Tabla 3: Estimación de consumo anual

5.3 SIMULACIÓN DEL RENDIMIENTO ENERGÉTICO CON SAM

Para analizar el comportamiento energético de la instalación agrovoltaica se ha utilizado el software System Advisor Model (SAM), desarrollado por el NREL (National Renewable

Energy Laboratory). Esta herramienta permite modelar sistemas fotovoltaicos con un alto nivel de detalle técnico, incorporando variables como la localización geográfica, el tipo de módulo, el inversor, las pérdidas por temperatura y suciedad, así como datos climáticos reales.

El uso de SAM se justifica por su capacidad para simular instalaciones específicas de autoconsumo con un nivel de precisión elevado. En este proyecto, se ha empleado exclusivamente para la evaluación técnica del sistema fotovoltaico, sin realizar un análisis económico en esta fase, ya que este se abordará de forma independiente.

5.3.1 PARÁMETROS DE ENTRADA

Con el objetivo de evaluar el rendimiento técnico del sistema fotovoltaico diseñado para una instalación agrovoltáica en Extremadura, se ha utilizado el software System Advisor Model (SAM). A continuación, se detallan y justifican los parámetros configurados en la simulación.

Ubicación y recurso solar

Se ha introducido manualmente la localización de Don Benito (Badajoz), utilizando coordenadas geográficas (latitud 39,01°, longitud -5,99°), y seleccionando un archivo meteorológico tipo TMY desde la base de datos del NSRDB, que proporciona condiciones climáticas medias representativas de un año típico.

Selección del módulo fotovoltaico

El módulo seleccionado ha sido el Aptos Solar Technology DNA-144-B10-540W, un panel bifacial monocristalino de alta eficiencia. La tecnología bifacial se considera especialmente adecuada para sistemas agrovoltáicos, ya que puede aprovechar la radiación reflejada por el suelo agrícola y aumentar la generación sin necesidad de incrementar el espacio ocupado por los módulos.

Además, este módulo permite una buena relación potencia/superficie y es compatible con estructuras elevadas, manteniendo espacio libre bajo los paneles para las labores agrícolas.

Elección del inversor

Se ha optado por un inversor de la marca Canadian Solar, modelo CSI-25KTL-GS-FL (480 V), con una potencia nominal de 25,58 kW y una eficiencia CEC ponderada del 97,82 %, lo que garantiza un rendimiento alto en la conversión de corriente continua a alterna.

El ratio DC/AC de 1,21 es adecuado para maximizar la producción sin provocar pérdidas por recorte de potencia en la mayoría de las situaciones.

Configuración eléctrica del sistema

El sistema está compuesto por un total de 56 módulos, organizados en 14 cadenas de 4 módulos cada una. Esto da como resultado una potencia nominal instalada de 30,29 kWp, ocupando aproximadamente 144,4 m². Esta configuración ha sido dimensionada para cubrir la demanda anual estimada de 44348,9 KWh, asociada al sistema de riego por goteo y al uso de un tractor eléctrico.

Diseño y disposición

Los módulos se han dispuesto en orientación horizontal (landscape), en 2 filas por estructura, con una separación entre filas basada en un Ground Coverage Ratio (GCR) de 0,3. Esta distancia minimiza las pérdidas por sombreado y permite mantener una cierta accesibilidad para las tareas agrícolas. La altura libre al suelo de 2 m favorece tanto la ventilación como el paso de maquinaria agrícola.

Pérdidas y degradación

En toda instalación fotovoltaica es imprescindible considerar las diferentes pérdidas que se producen a lo largo del proceso de generación y conversión de energía, ya que afectan directamente al rendimiento final del sistema. En esta simulación, se han tenido en cuenta

tanto las pérdidas en corriente continua (DC) como en corriente alterna (AC), así como la degradación anual del rendimiento de los módulos a lo largo de los años.

En cuanto a las pérdidas en DC, se han contemplado las siguientes:

- **Desajuste entre módulos (module mismatch):** Se ha estimado un 2 %, valor típico debido a pequeñas diferencias de fabricación o envejecimiento desigual entre paneles conectados en serie.
- **Pérdidas en diodos y conexiones:** Se ha considerado un 0,5 %, asociado a las conexiones internas del sistema y al uso de diodos de protección.
- **Pérdida por optimizadores de potencia (DC optimizer loss):** Se ha introducido una pérdida del 4,44 %, correspondiente al rendimiento de los optimizadores empleados para maximizar la eficiencia individual de cada panel.

Las pérdidas de corriente alterna (AC wiring) se han fijado en un 1 %, en línea con lo que se espera por la resistencia en el cableado que conecta el inversor a la red interna o al punto de consumo.

En lo referente a la degradación anual del sistema, se ha establecido una tasa del 0,5 % anual, valor estándar para módulos monocristalinos de calidad. Esta degradación se aplica linealmente a partir del segundo año y refleja la disminución progresiva de la capacidad de generación debido al envejecimiento natural de los módulos.

Estas pérdidas han sido configuradas explícitamente en SAM, en lugar de usar los valores por defecto, para obtener una simulación más ajustada a las condiciones reales del proyecto.

A continuación, se resume en la siguiente tabla todos los parámetros de entrada:

| Categoría | Parámetro | Valor / Descripción |
|------------------|----------------------|------------------------------|
| Ubicación | Localización | Don Benito (Extremadura) |
| | Latitud / Longitud | 39,01° / -5,99° |
| | Elevación | 247 m |
| | Fuente meteorológica | NSRDB - TMY |
| | Irradiancia global | 4,92 kWh/m ² /día |
| | Irradiancia directa | 6,37 kWh/m ² /día |

| | | |
|-------------------------------|------------------------------|--|
| | Albedo anual | 0,191 |
| | Velocidad media del viento | 2,1 m/s |
| Módulo FV | Modelo | Aptos DNA-144-B10-540W |
| | Potencia nominal (Pmp) | 540 W |
| | Eficiencia | 20,96 % |
| | Tecnología | Bifacial monocristalino (Mono-c-Si) |
| | Dimensiones | 2,277 × 1,133 m |
| | Altura al suelo | 0,7 m |
| Inversor | Modelo | Canadian Solar CSI-25KTL-GS-FL (480V) |
| | Potencia nominal (AC) | 25,582 kW |
| | Eficiencia CEC | 97,82 % |
| Configuración | Potencia instalada (DC) | 30,29 kWp |
| | Nº de módulos | 56 |
| | Nº de cadenas | 14 (4 módulos por cadena) |
| | Superficie ocupada | 144,4 m ² |
| | Ratio DC/AC | 1,21 |
| Disposición física | Orientación de módulos | Horizontal (landscape), 2 módulos por fila |
| | Nº de filas | 2 |
| | Separación entre filas (GCR) | 0,3 |
| | Distancia entre filas | 7,553 m |
| Pérdidas y degradación | Pérdidas DC (total) | ~4,44 % |
| | Pérdidas AC (cableado) | 1 % |
| | Tasa de degradación anual | 0,5 % |

Tabla 4: Parámetros de entrada para simulación con SAM

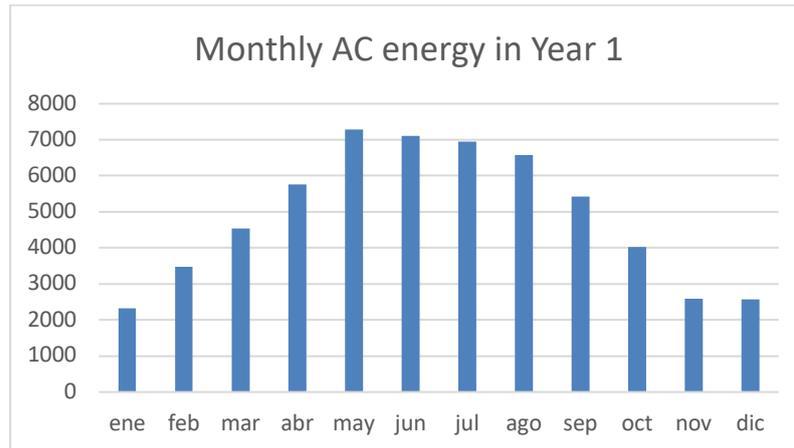
5.3.2 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

Tras configurar y ejecutar la simulación en el software System Advisor Model (SAM), se han obtenido una serie de resultados clave que permiten evaluar el rendimiento técnico del sistema fotovoltaico diseñado. Estos resultados ofrecen una visión detallada de la producción energética anual, el aprovechamiento de la irradiancia solar y la eficiencia global del sistema agrovoltaico.

| Metric | Value |
|------------------------------|--------------|
| Annual AC energy in Year 1 | 58589 kWh |
| DC capacity factor in Year 1 | 22,10% |

| | |
|-----------------------------|-------------|
| Energy yield in Year 1 | 1934 kWh/kW |
| Performance ratio in year 1 | 0,78 |
| Net capital cost | 35.146,00 € |

Tabla 5: Resultados obtenidos en SAM



Gráfica 3: Generación por meses durante el primer año de funcionamiento

En el primer año de operación, se estima una producción eléctrica de: 58.589 kWh (AC), frente a una demanda anual prevista de 44.348,9 kWh. Este exceso de generación en el primer año, del 32,2% respecto a la demanda anual estimada, se debe al ligero sobredimensionamiento deliberado del sistema, con el objetivo de garantizar que, a pesar de la degradación progresiva de los módulos fotovoltaicos a lo largo de los años, la instalación siga siendo capaz de cubrir la mayoría de la demanda energética prevista durante toda su vida útil.

El factor de capacidad en corriente continua (DC capacity factor) alcanza el 22,10 %, un valor elevado y coherente con una instalación bien dimensionada en una región de alta irradiación solar como Extremadura.

Por su parte, el rendimiento específico asciende a 1934 kWh/kWp, indicando la cantidad de energía útil que genera cada kilovatio pico instalado. Este valor confirma un aprovechamiento eficiente de la radiación solar disponible.

El Performance Ratio (PR), que mide la eficiencia global del sistema considerando todas las pérdidas (térmicas, eléctricas, por sombreado, etc.), se sitúa en 0,78. Este valor, superior al

umbral típico del 0,75 en instalaciones bien diseñadas, refleja un correcto dimensionamiento del sistema, una adecuada orientación de los módulos y unas pérdidas razonablemente controladas.

5.3.3 BALANCE MENSUAL ENTRE PRODUCCIÓN FOTOVOLTAICA Y DEMANDA ENERGÉTICA

Una vez configurado el sistema fotovoltaico con un total de 56 módulos bifaciales y habiendo obtenido los resultados de simulación correspondientes al primer año de operación, se procede a analizar el balance energético mensual entre la producción y la demanda eléctrica de la instalación agrovoltaica.

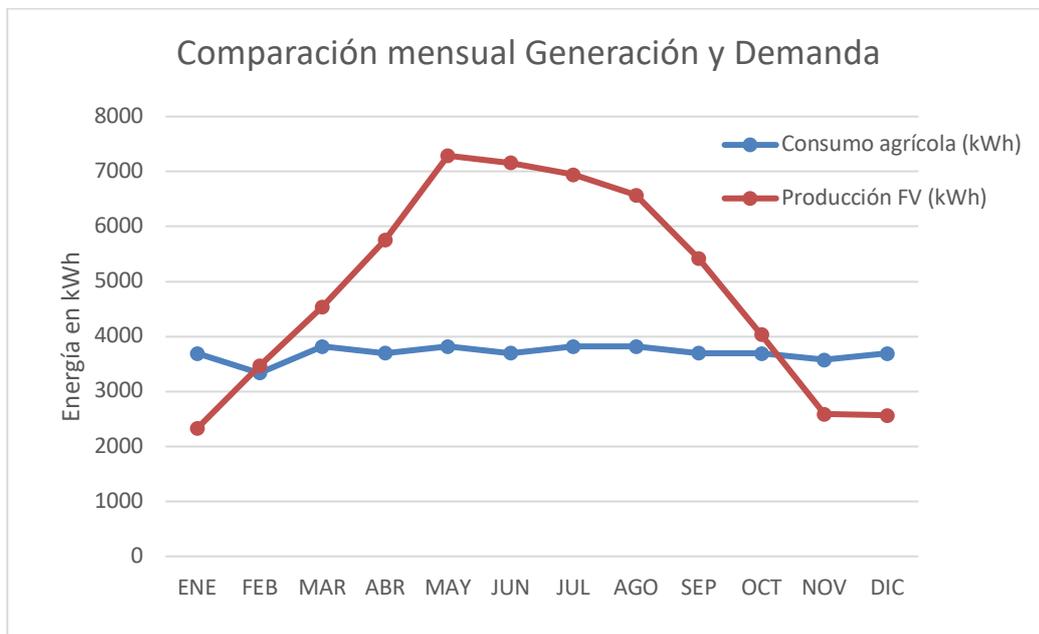
La demanda mensual, estimada en función del consumo energético del sistema de riego (incluyendo cultivos de tomate y acelga) y de la recarga diaria de un tractor eléctrico, se mantiene relativamente constante a lo largo del año, con un promedio mensual cercano a los 3.700 kWh. En cambio, la producción fotovoltaica mensual muestra una fuerte estacionalidad, determinada por la disponibilidad del recurso solar. Esta diferencia entre demanda constante y producción variable justifica la necesidad de analizar el equilibrio mes a mes.

Durante los meses de primavera y verano (de abril a septiembre), la producción mensual supera ampliamente la demanda, alcanzando picos de generación de más de 7.000 kWh en junio y julio.

Por el contrario, en los meses de invierno y otoño (especialmente de noviembre a febrero), la generación se sitúa por debajo de la demanda, con valores mensuales inferiores a los 2.500 kWh. Esta diferencia supone la necesidad de complementar el suministro eléctrico mediante conexión a red para cubrir la demanda restante. Se ha optado por no instalar un sistema de almacenamiento con baterías, ya que el uso de la energía sobrante de los meses de verano para cubrir necesidades invernales sería ineficiente debido a las pérdidas por autodescarga y el coste elevado de estos equipos. En su lugar, se ha decidido que la energía faltante en los meses de menor producción será adquirida directamente de la red eléctrica, opción más

sencilla y económica. Este consumo adicional se tendrá en cuenta explícitamente en el análisis económico del sistema, tanto en el cálculo del coste de operación anual como en la evaluación del retorno de la inversión.

El siguiente gráfico permite visualizar de forma clara esta relación mensual entre generación y demanda:



Gráfica 4: Comparación Generación-Demanda año 1

En resumen, el diseño sobredimensionado del sistema permite cubrir holgadamente la demanda durante los meses de mayor irradiación y minimizar la dependencia de la red eléctrica en los meses de menor producción. Esta estrategia resulta especialmente adecuada para instalaciones agrícolas con consumo estable, al permitir un equilibrio técnico y económico sin comprometer la viabilidad del sistema a largo plazo.

5.4 DEGRADACIÓN Y VIDA ÚTIL

El rendimiento de una instalación fotovoltaica no permanece constante a lo largo del tiempo, sino que se ve afectado por una degradación progresiva de los módulos solares debido al envejecimiento natural de los materiales. Esta degradación implica una reducción paulatina

de la capacidad de generación eléctrica, lo cual debe tenerse en cuenta tanto desde el punto de vista técnico como económico.

En el presente proyecto se ha considerado una tasa de degradación anual del 0,5 %, valor típico y conservador para módulos monocristalinos bifaciales de calidad como los empleados (Aptos DNA-144-B10-540W). Esta tasa se ha aplicado de forma lineal a partir del segundo año de vida útil, en línea con las recomendaciones de diseño para sistemas agrícolas de larga duración.

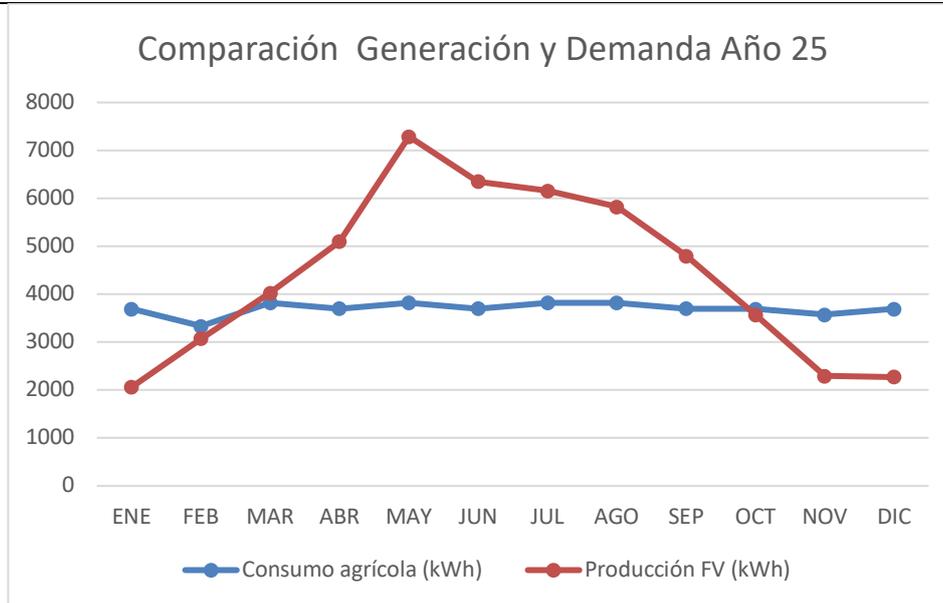
Con este valor de degradación, se estima que al cabo de 25 años (vida útil estándar de un sistema fotovoltaico) los módulos conservarán aproximadamente:

$$\text{Factor de generación en el año 25} = (1 - 0,005)^{24} = 0,8864$$

Ecuación 6: Factor de generación tras 25 años

Es decir, en el año 25, los módulos producen aproximadamente un 88,6 % de lo que producían en el año 1. En términos prácticos, esto supone que la energía anual generada disminuiría desde los 58,589 kWh estimados en el primer año hasta unos 51.935 kWh aproximadamente en el año 25, una cifra que sigue siendo superior a la demanda actual del sistema agrícola (44.349 kWh/año).

A continuación, se muestra la gráfica de generación-demanda mensual en el año 25



Gráfica 5: Comparación Generación-Demanda en el Año 25

A pesar de la pérdida progresiva de rendimiento por degradación, la generación fotovoltaica en el año 25 sigue siendo suficiente para cubrir la demanda energética en la mayor parte del año. Aunque en los meses de invierno la generación cae por debajo de la demanda, el sistema en su conjunto sigue siendo plenamente viable sin necesidad de redimensionamiento, gracias al diseño sobredimensionado adoptado desde el inicio.

5.5 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO

El análisis realizado a lo largo de este capítulo permite concluir que la instalación fotovoltaica planteada para el sistema agrovoltaico en Don Benito (Extremadura) presenta una viabilidad técnica sólida. La selección de componentes como módulos bifaciales de alta eficiencia, un inversor adecuado al dimensionamiento del campo solar y una configuración eléctrica optimizada ha permitido diseñar un sistema capaz de cubrir holgadamente la demanda energética agrícola anual estimada, incluso considerando la degradación natural de los módulos a lo largo del tiempo.

La producción energética obtenida en la simulación del primer año (58.589 kWh) supera con margen la demanda anual prevista (44.349 kWh), lo que confirma la adecuación del diseño. Esta estrategia de sobredimensionamiento controlado garantiza que, incluso tras 25 años de operación, la instalación continúe generando suficiente energía para abastecer el sistema de riego y la maquinaria agrícola eléctrica, sin necesidad de redimensionamientos adicionales.

La comparativa mensual entre generación y consumo refleja un equilibrio estacional razonable, con excedentes significativos durante la primavera y el verano, y déficits asumibles en los meses de menor irradiación, que podrán cubrirse mediante conexión a red sin comprometer la operatividad general del sistema.

Por tanto, se concluye que el diseño propuesto no solo es técnicamente viable en el corto plazo, sino que también se mantiene eficiente a largo plazo, cumpliendo con los requisitos energéticos de la actividad agrícola sin comprometer su compatibilidad funcional ni su sostenibilidad operativa.

Capítulo 6. ASPECTOS LEGALES Y NORMATIVOS

6.1 INTRODUCCIÓN

La implantación de sistemas agrovoltaicos en terrenos agrícolas supone una innovadora combinación entre la producción de energía renovable y la actividad agraria tradicional. Sin embargo, el desarrollo de este tipo de instalaciones no está exento de retos normativos y legales, especialmente debido a la superposición de regulaciones sectoriales de distinta naturaleza: energética, agrícola, urbanística y medioambiental.

En este contexto, es esencial llevar a cabo un análisis riguroso del marco legal aplicable, que permita identificar las obligaciones jurídicas, los procedimientos administrativos necesarios, así como las oportunidades y restricciones existentes. Dicho análisis debe realizarse considerando la normativa de tres niveles de actuación: el marco supranacional de la Unión Europea, que establece directrices generales para la transición energética y la protección de suelos agrícolas; el marco estatal español, que regula aspectos específicos como el autoconsumo energético, la conexión a la red y las actividades en suelo rústico; y la normativa autonómica de Extremadura, que introduce particularidades tanto en los procedimientos de autorización como en la promoción de las energías renovables en entornos rurales.

La correcta interpretación y cumplimiento de este conjunto normativo no solo es una exigencia legal, sino también un factor estratégico clave para garantizar la viabilidad técnica, económica y ambiental del proyecto agrovoltaico, asegurando su integración armoniosa en el territorio y su aceptación por parte de las autoridades y la sociedad.

6.2 NORMATIVA DE LA UNIÓN EUROPEA (UE)

Aunque la Unión Europea no dispone de una legislación específica sobre agrovoltaica, sí establece un marco normativo que permite y promueve este tipo de proyectos a través de

varias directivas y reglamentos. La Directiva (UE) 2018/2001, conocida como RED II, impulsa el desarrollo de energías renovables y fomenta activamente el autoconsumo, favoreciendo iniciativas como las instalaciones solares en entornos agrícolas[19]. Esta directiva también insta a los Estados miembros a reducir las trabas administrativas para pequeñas instalaciones renovables, lo que facilita la implantación de sistemas agrovoltáicos en suelo rural.

Además, el Pacto Verde Europeo y el paquete legislativo "Fit for 55" (2021) proponen simplificaciones administrativas y apoyan expresamente el uso dual del suelo para actividades agrícolas y generación solar, siempre que no se degraden los valores ambientales [20]. Estas estrategias buscan acelerar la transición energética, considerando favorablemente proyectos que integren energía renovable con producción agrícola.

Por otro lado, el Reglamento (UE) 2020/852, conocido como Reglamento de Taxonomía, establece los criterios que debe cumplir una actividad para ser considerada medioambientalmente sostenible. La agrovoltáica, al integrar energías limpias con agricultura sin deterioro ambiental, cumple estos requisitos y puede clasificarse como inversión verde, lo que facilita el acceso a financiación pública y privada [21].

6.3 *NORMATIVA NACIONAL*

En el marco legal español tampoco existe una ley específica que regule las instalaciones agrovoltáicas como figura propia, pero sí se permite su desarrollo gracias a varias disposiciones relacionadas con energías renovables, uso del suelo y transición ecológica. La Ley 24/2013 del Sector Eléctrico establece que cualquier instalación generadora de electricidad debe cumplir los requisitos de acceso, conexión y registro, lo que incluye a las instalaciones agrovoltáicas que inyecten energía a la red o realicen autoconsumo.[22]

El Real Decreto 244/2019, que desarrolla esta ley en lo relativo al autoconsumo eléctrico, permite explícitamente el autoconsumo individual o colectivo, incluyendo instalaciones situadas en suelo agrícola, siempre que se garantice su compatibilidad urbanística. El decreto

establece procedimientos simplificados para instalaciones de menos de 100 kW, lo que se ajusta a muchas agrovoltaicas de pequeña escala.[23]

Además, la Ley 7/2021 de Cambio Climático y Transición Energética introduce un respaldo normativo directo a la agrovoltaica al priorizar expresamente proyectos que impliquen el doble uso del suelo. Esta ley promueve el despliegue de renovables en entornos rurales y agrícolas como herramienta de sostenibilidad ambiental y dinamización económica.[24]

6.4 *NORMATIVA REGIONAL (EXTREMADURA)*

Extremadura cuenta con un marco normativo autonómico particularmente favorable a la agrovoltaica, no solo permitiéndola, sino también promoviéndola de forma activa. El Decreto 189/2022, de impulso de las energías renovables, establece medidas para agilizar y simplificar los trámites administrativos de instalaciones de autoconsumo menores de 5 MW, muchas de las cuales pueden clasificarse como agrovoltaicas. Una de sus medidas clave es permitir este tipo de proyectos en suelo rústico sin necesidad de recalificación urbanística, siempre que no se altere su uso agrícola principal.[25]

Asimismo, el Plan Extremeño Integrado de Energía y Clima (PEIEC) 2021-2030 considera la agrovoltaica una línea estratégica para el desarrollo de energías limpias en zonas rurales. Este plan contempla ayudas e incentivos a la generación distribuida en el sector agrícola, lo que posiciona a Extremadura como una de las comunidades autónomas más avanzadas en cuanto a apoyo institucional a la agrovoltaica.[26]

En lo ambiental, la Ley 5/2010 de Prevención y Calidad Ambiental de Extremadura exige una Autorización Ambiental Unificada (AAU) para muchos proyectos, pero prevé procedimientos simplificados para instalaciones pequeñas en suelo agrícola, lo que reduce los tiempos y costes de tramitación.[27]

6.5 TIEMPO DE TRAMITACIÓN

Antes de poder poner en marcha una instalación agrovoltáica, es imprescindible cumplir con una serie de trámites administrativos que garantizan que el proyecto es viable desde el punto de vista legal, ambiental y técnico. Estos procedimientos abarcan distintas competencias y varían ligeramente en función de la ubicación, tamaño del sistema y si se trata de autoconsumo con o sin excedentes. A continuación, se detallan los pasos esenciales que cualquier promotor debe seguir en Extremadura, junto con las fuentes normativas que los regulan.

6.5.1 EVALUACIÓN TÉCNICA Y URBANÍSTICA INICIAL

El primer paso es comprobar la viabilidad del proyecto en función del uso del suelo. Las instalaciones agrovoltáicas deben implantarse en suelo rústico compatible con el uso agrario principal. Para ello se debe consultar el Plan General Municipal correspondiente y solicitar un informe de compatibilidad urbanística al ayuntamiento.

Base legal:

- Ley 7/1985 Reguladora de las Bases del Régimen Local [28]
- Normativa urbanística local de cada municipio
- Decreto 189/2022 de Extremadura (permite el uso energético sin recalificación del suelo si no se pierde el uso agrícola) [29]

6.5.2 AUTORIZACIÓN AMBIENTAL UNIFICADA (AAU) O DECLARACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL (DIA)

Dependiendo de la potencia instalada y la ubicación, el proyecto requerirá una AAU o una DIA, reguladas por la Ley 5/2010 de Prevención y Calidad Ambiental de Extremadura. Para pequeños proyectos de autoconsumo en suelo agrícola no protegido, se puede aplicar un procedimiento simplificado. El expediente debe incluir planos, memoria técnica, estudio de impacto ambiental y consulta a organismos sectoriales.[30]

Base legal:

- Ley 5/2010, de 23 de junio, de Prevención y Calidad Ambiental de Extremadura

6.5.3 LICENCIA DE OBRAS Y ACTIVIDAD

Una vez obtenido el visto bueno ambiental y urbanístico, se debe tramitar la licencia de obras y la de actividad en el ayuntamiento correspondiente. Este trámite asegura que las instalaciones cumplen las condiciones constructivas y de seguridad aplicables.

Base legal:

- Ley 5/1999 de Urbanismo y Ordenación Territorial de Extremadura (LOTUS)[31]
- Normativa municipal del ayuntamiento correspondiente

6.5.4 REGISTRO DE LA INSTALACIÓN EN EL RAAC (AUTOCONSUMO)

Las instalaciones de autoconsumo deben inscribirse en el Registro Administrativo de Autoconsumo de Energía Eléctrica (RAAC) gestionado por el Ministerio para la Transición Ecológica. Este trámite es obligatorio para instalaciones con y sin excedentes, y se puede hacer telemáticamente una vez legalizada la instalación.

Base legal:

- Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, sobre autoconsumo eléctrico [23]

6.5.5 LEGALIZACIÓN DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA

Una vez construida, la instalación debe legalizarse ante la Dirección General de Industria. Para ello se presenta la memoria técnica o proyecto, el certificado de instalación eléctrica (CIE) emitido por instalador autorizado, y otros documentos como boletines o esquemas unifilares.

Base legal:

- Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT) y sus instrucciones técnicas

- Trámite obligatorio en todas las comunidades autónomas

6.5.6 COMUNICACIÓN DE PUESTA EN SERVICIO

Una vez finalizada la obra, se debe notificar oficialmente la puesta en servicio a la Dirección General de Industria de la Junta de Extremadura, adjuntando la documentación técnica completa. Este trámite da por finalizada la legalización del sistema y permite su explotación oficial.

Base legal:

- Procedimientos de industria regulados por la comunidad autónoma
- Modelos y formularios disponibles en <https://industriaextremadura.juntaex.es>

6.5.7 RESUMEN FASES TRAMITACIÓN

La puesta en marcha de una instalación agrolvoltaica requiere cumplir con una serie de trámites administrativos que pueden estructurarse en tres fases principales: evaluación previa, autorizaciones antes de la ejecución y gestiones posteriores a la instalación. Esta división permite planificar mejor el proyecto y optimizar los tiempos, ya que algunos procedimientos pueden realizarse en paralelo si se conocen con antelación. A continuación, se resumen los principales pasos, con sus respectivas entidades competentes, plazos estimados y referencias normativas aplicables.

Fase 1: Evaluación y preparación

| <i>Paso</i> | <i>Entidad responsable</i> | <i>Inicio estimado</i> | <i>Duración estimada</i> |
|--|----------------------------|------------------------|--------------------------|
| Evaluación técnica y urbanística inicial | Ayuntamiento | Mes 0 | 1 mes |

Fase 2: Antes de la instalación

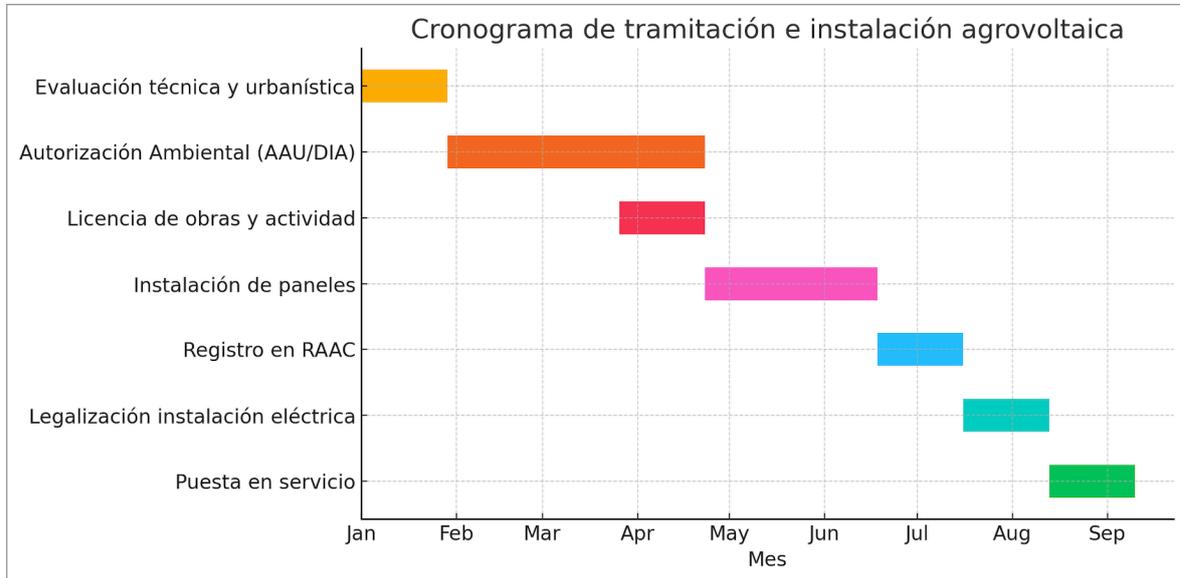
| <i>Paso</i> | <i>Entidad responsable</i> | <i>Inicio estimado</i> | <i>Duración estimada</i> |
|--|----------------------------|------------------------|--------------------------|
| Autorización Ambiental Unificada (AAU) o DIA | Junta de Extremadura | Mes 1 | 2-3 meses |
| Licencia de obras y de actividad | Ayuntamiento | Mes 3 (tras AAU) | 1 mes |

Fase 3: Tras la instalación

| <i>Paso</i> | <i>Entidad responsable</i> | <i>Inicio estimado</i> | <i>Duración estimada</i> |
|--|---|------------------------|--------------------------|
| Registro en RAAC (autoconsumo) | Ministerio para la Transición Ecológica | Mes 4 | 1 mes |
| Legalización de la instalación eléctrica | Dirección General de Industria | Mes 5 | 1 mes |
| Comunicación de puesta en servicio | Dirección General de Industria | Mes 6 | 1 mes |

Para minimizar el impacto en la actividad agrícola, la planificación del proyecto contempla aprovechar los meses de inactividad del cultivo de tomate, principalmente en otoño e invierno, para ejecutar la instalación de los paneles solares. De este modo, se evita interferir con las labores de siembra, crecimiento y recolección, garantizando la continuidad de la producción agrícola y facilitando una integración armónica entre la infraestructura energética y la explotación agraria.

A continuación, se muestra un cronograma recogiendo todo lo expuesto en las tablas anteriores de manera visual



Gráfica 6: Cronograma tramitación legal

6.6 RIESGOS LEGALES Y ADMINISTRATIVOS

Aunque el marco normativo actual permite la implantación de instalaciones agrovoltaicas, su desarrollo no está exento de riesgos legales y administrativos que pueden afectar tanto al calendario como a la viabilidad económica del proyecto. A continuación, se recogen los principales riesgos identificados durante el análisis de tramitación:

- **Retrasos en la obtención de autorizaciones:** La Autorización Ambiental Unificada (AAU), la licencia de obras o la legalización de la instalación eléctrica pueden demorarse si la administración no responde en plazo o solicita documentación adicional. Esto puede alterar la planificación agrícola si no se ejecuta la obra en los meses previstos.
- **Incompatibilidad urbanística del suelo:** Aunque el Decreto 189/2022 de Extremadura permite usos energéticos en suelo rústico sin recalificación, es imprescindible que el uso agrario principal no se vea alterado. Un error en la

clasificación urbanística o un informe desfavorable del ayuntamiento puede bloquear el proyecto.

- **Falta de coordinación entre trámites:** Algunos procedimientos deben realizarse de forma secuencial (por ejemplo, no se puede solicitar la licencia de obras sin la autorización ambiental previa). Una planificación incorrecta puede generar solapamientos o duplicidad de esfuerzos.
- **Errores técnicos en la documentación:** La presentación de memorias técnicas incompletas, planos inadecuados o estudios ambientales poco rigurosos puede derivar en requerimientos de subsanación o incluso en la denegación del trámite.
- **Cambios normativos en curso:** La normativa energética y ambiental está en continua evolución, especialmente en el contexto de transición ecológica. Un cambio regulatorio durante el proceso puede introducir nuevos requisitos o alterar condiciones previamente aceptadas.
- **Riesgo de no inscripción en el registro de autoconsumo (RAAC):** Aunque este trámite es posterior a la instalación, un error en la documentación o la falta de correspondencia entre lo ejecutado y lo autorizado puede impedir la inscripción, y con ello, la posibilidad de operar legalmente.

Para reducir estos riesgos y asegurar una tramitación eficaz, es fundamental planificar cuidadosamente el calendario de trámites y contar desde el inicio con apoyo técnico especializado. Además, mantener una comunicación constante con las administraciones competentes y revisar exhaustivamente toda la documentación antes de su presentación puede evitar requerimientos innecesarios y acelerar el proceso de autorización.

6.7 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO

El desarrollo de una instalación agrovoltaica en Extremadura requiere una cuidadosa planificación administrativa para cumplir con la normativa vigente a nivel local, autonómico, estatal y europeo. Aunque no existe una legislación específica sobre las instalaciones agrovoltaicas, el marco legal actual permite e incluso impulsa este tipo de proyectos, siempre que se respeten los usos agrarios del suelo y se garantice la sostenibilidad ambiental.

La tramitación legal se estructura en varias fases que abarcan desde la evaluación urbanística inicial hasta la puesta en servicio, con una duración estimada total de entre 6 y 9 meses, dependiendo de la complejidad del proyecto y la agilidad de las administraciones competentes. Para facilitar la viabilidad del proyecto y no interferir con la producción agrícola de tomate, se ha planificado ejecutar la instalación durante los meses de inactividad del cultivo, aprovechando así la estacionalidad del terreno.

Además, la simplificación de procedimientos para proyectos renovables de autoconsumo, especialmente en Extremadura, junto con el respaldo institucional a la agrovoltaica, convierte este modelo en una solución estratégica para el desarrollo rural sostenible.

Capítulo 7. ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA

7.1 INTRODUCCIÓN

Todo proyecto técnico debe ir acompañado de un análisis económico que evalúe su viabilidad financiera a lo largo del tiempo. En el caso de una instalación agrovoltaica, este análisis resulta especialmente relevante, ya que permite comparar la inversión inicial con los ahorros o ingresos generados durante su vida útil, teniendo en cuenta la evolución temporal del dinero y los gastos asociados al mantenimiento y operación del sistema.

El estudio económico no debe confundirse con el presupuesto del proyecto. Mientras que el presupuesto recoge los costes iniciales (costes de equipos, instalación, obra civil, etc.), el estudio de viabilidad económica se centra en determinar si dicha inversión resulta rentable o no, mediante indicadores como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Rentabilidad (TIR), el Periodo de Retorno (PR) y el Coste Nivelado de la Electricidad (LCOE).

En este análisis se tendrá en cuenta tanto el coste de inversión (CAPEX) como los gastos anuales de operación y mantenimiento (OPEX), considerando además una tasa de descuento que refleje el coste de oportunidad del capital y posibles riesgos del proyecto. Asimismo, se incluirán estimaciones sobre la evolución de precios y producción, y se realizará una comparación entre el coste de generación de la energía y su valor de uso o de venta, con el objetivo de determinar la rentabilidad económica de la instalación agrovoltaica diseñada.

7.2 ESTIMACIÓN DE INVERSIÓN

El análisis de viabilidad económica de una instalación fotovoltaica comienza con la estimación de la inversión inicial necesaria, también denominada CAPEX (Capital Expenditure). Esta inversión incluye la adquisición de los equipos, los trabajos de

instalación, otros costes indirectos y partidas adicionales vinculadas al desarrollo del proyecto.

Potencia instalada

La instalación diseñada consta de 56 módulos fotovoltaicos del modelo Aptos Solar DNA-144-B10 de 540 W cada uno, lo que da lugar a una potencia pico instalada de:

$$P_{instalada} = 56 * 540 W = 30240 W = 30,24 kWp$$

Ecuación 7: Potencia instalada

Coste de emplazamiento (CE)

El coste de emplazamiento incluye los equipos principales de generación y conversión de energía, junto con su instalación básica. Los 56 módulos fotovoltaicos Aptos Solar DNA-144-B10 de 540 W tienen un coste total de 10.297,76 €, mientras que el inversor Canadian Solar CSI-25KTL-GS-FL tiene un coste de 908,63 €. Estos valores forman el capital neto de la instalación, al que posteriormente se le aplican coeficientes estándar para estimar los costes directos e indirectos totales del proyecto.

Costes directos (CD)

Los costes directos incluyen tanto los costes de emplazamiento como los de no emplazamiento (obra civil, estructuras, canalizaciones, etc.)[32]. Para una planta nueva, se estima:

$$CD = 2,2 * CE = 2,2 * 11.206,39 = 24.654,06€$$

Ecuación 8: Costes directos

Costes indirectos (CI)

Los costes indirectos recogen tareas de ingeniería, tramitación administrativa, supervisión, seguridad y contingencias. Se estiman como un 25 % de los costes directos [32]:

$$CI = 0,25 * 24.654,06 = 6.163,51 \text{ €}$$

Ecuación 9: Costes indirectos

Inmovilizado (INV)

La suma de costes directos e indirectos da lugar al valor del inmovilizado:

$$INV = CD + CI = 30.817,57 \text{ €}$$

Ecuación 10: Inmovilizado

Inversión total sin tractor (INVT)

La inversión total incluye, además del inmovilizado, otras partidas como la puesta en marcha, seguros, capital circulante o costes intangibles. [32] Se estima mediante el coeficiente:

$$INVT = 1,47 * INV = 1,47 * 30.817,57 = 45.301,83 \text{ €}$$

Ecuación 11: Inversión total sin tractor

Inclusión del tractor eléctrico

Como parte de la electrificación agrícola asociada a la instalación agrovoltaica, se incorpora la adquisición de un tractor eléctrico New Holland T4 Electric Power con un coste estimado de 70.000 €. Este valor se añade a la inversión total para reflejar el enfoque integral del proyecto.

$$INVT' = INVT + \text{Coste tractor} = 45.301,83 + 70.000 = 115.301,83 \text{ €}$$

Ecuación 12: Inversión total con tractor

Este valor corregido de la inversión total será el que se emplee en los apartados siguientes para el cálculo de la amortización anual, el coste nivelado de la electricidad (LCOE) y los principales indicadores de rentabilidad del proyecto.

7.3 GASTOS OPERATIVOS Y PARÁMETROS ECONÓMICOS

7.3.1 GASTOS OPERATIVOS (OPEX)

Los gastos operativos anuales, conocidos como OPEX (Operational Expenditure), engloban los costes recurrentes asociados al funcionamiento y mantenimiento de la instalación agrovoltaica. Estos costes son fundamentales para evaluar la viabilidad económica a largo plazo del proyecto.

Costes de operación y mantenimiento (OM)

El principal componente del OPEX en una instalación fotovoltaica es el coste de operación y mantenimiento (OM). Este incluye tareas como:

- Inspecciones periódicas de los equipos.
- Limpieza de los módulos fotovoltaicos.
- Reparaciones menores y sustitución de componentes.
- Monitorización y gestión del sistema.

Según diversas fuentes del sector, el coste anual de mantenimiento para instalaciones fotovoltaicas varía en función de la potencia instalada y las características específicas del proyecto. Por ejemplo, para instalaciones de hasta 5 kW, los costes anuales oscilan entre 120 € y 200 €, mientras que, para instalaciones de mayor tamaño, como la del presente proyecto (30,24 kWp), los costes pueden situarse entre 500 € y 1.500 € anuales.[33]

De forma más técnica, informes de organismos como IRENA [34] y el NREL [35] sitúan el coste de operación y mantenimiento de instalaciones en suelo sin baterías en el rango de 15-25 €/kW·año, siendo valores aceptados para análisis de viabilidad económica preliminar

Teniendo en cuenta estas referencias y las características de la instalación agrovoltaica en Don Benito (30,24 kWp), se adopta un valor medio conservador dentro de ese rango:

$$OM_0 = 20 * 30,24 = 604,8 \text{ €}$$

Ecuación 13: Costes de Operación y Mantenimiento

Este valor se ajusta a las estimaciones del sector y proporciona una base sólida para los cálculos económicos posteriores.

Incremento anual de los costes de OM

Es habitual considerar un incremento anual en los costes de operación y mantenimiento para reflejar la inflación y posibles aumentos en los precios de los servicios. Se adopta una tasa de incremento anual del 1 %:

$$r_{OM} = 1\%$$

Este valor es conservador y se alinea con las prácticas estándar en estudios de viabilidad económica.

7.4 PARÁMETROS ECONÓMICOS DEL PROYECTO

Para llevar a cabo un análisis económico riguroso de la instalación agrovoltaica, es necesario establecer ciertos parámetros económicos clave que permitan proyectar y actualizar los flujos monetarios a lo largo de la vida útil del sistema. Estos parámetros se emplearán posteriormente en el cálculo del Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Rentabilidad (TIR), el Período de Retorno (PR) y el Coste Nivelado de la Electricidad (LCOE).

Vida útil del proyecto (N)

Se adopta una vida útil de 25 años, que es el valor estándar para instalaciones fotovoltaicas basadas en módulos monocristalinos bifaciales. Este horizonte temporal es coherente con la garantía de rendimiento ofrecida por la mayoría de los fabricantes de módulos solares y con las recomendaciones metodológicas empleadas en el análisis económico de proyectos energéticos:

$$N = 25 \text{ años}$$

Tasa de descuento (i)

La tasa de descuento representa el coste del capital o WACC (*Weighted Average Cost of Capital*) y se utiliza para actualizar los flujos económicos futuros al valor presente. En este estudio se ha adoptado un valor del 7 % [34], adecuado para proyectos de autoconsumo agrícola financiados con una combinación de recursos propios y deuda, y con un nivel de riesgo medio-bajo.

$$i = 7\%$$

Este valor está dentro del rango habitual (5–10 %) para proyectos de generación distribuida con alto grado de madurez tecnológica (Technology Readiness Level elevado) [32].

Tasa de incremento de precios (r)

Para simplificar el análisis, se adopta una tasa de proyección real del 0 %:

$$r = 0\%$$

Esto implica que todos los flujos económicos se calculan en moneda constante, es decir, sin incorporar inflación. Esta suposición es habitual en proyectos de larga duración, ya que evita la complejidad de trabajar simultáneamente con tasas reales y nominales, y se ajusta a las recomendaciones docentes. [32]

Tarifa eléctrica evitada (P)

Dado que la instalación está destinada al autoconsumo agrícola y no a la venta de energía a la red, los ingresos no provienen de una tarifa de mercado, sino del ahorro por consumo eléctrico evitado. Para valorarlo, se toma como referencia la tarifa media del año 2024 [36]:

$$P = 0,1276 \text{ €/kWh}$$

Este valor representa el precio sombra de la electricidad, es decir, lo que se habría pagado por cada kWh en ausencia de la instalación.

Ahorro adicional por electrificación del tractor

Además del autoconsumo eléctrico, el sistema agrovoltaico diseñado incorpora la adquisición de un tractor eléctrico New Holland T4 Electric Power, que sustituye a un tractor diésel convencional. Esta medida permite reducir significativamente el consumo de combustible fósil en las tareas agrícolas, generando un ahorro económico adicional atribuible a la electrificación.

Dado que la explotación mantiene actividad durante todo el año, con tomates en primavera-verano y acelgas en otoño-invierno, se estima un uso intensivo y constante del tractor. En particular, se considera un funcionamiento de 600 horas anuales, lo que equivale a unas 2,4 horas diarias durante 250 días al año.

Un tractor diésel convencional presenta un consumo medio de 8 litros por hora de gasóleo. Tomando como referencia el precio medio del gasóleo agrícola (gasóleo B) en España, que a junio de 2025 se sitúa en 1,041 €/litro según datos del portal Diesel o Gasolina [37], el coste anual evitado al reemplazar el tractor térmico por uno eléctrico sería:

$$\text{Consumo anual de gasolina} = 8 * 600 = 4.800 \text{ l/año}$$

Ecuación 14: Consumo anual de gasolina evitado

$$\text{Coste anual evitado} = 4.800 * 1,041 = 4.996,8 \text{ €}$$

Ecuación 15: Coste anual evitado por electrificación del tractor

Como el tractor eléctrico se recarga íntegramente con la energía generada por la instalación fotovoltaica, este gasto se elimina por completo. Por tanto, se incluye como un ingreso adicional anual en el análisis económico del proyecto:

$$\text{Atractor} = 4.996,8 \text{ €}$$

Este valor se sumará al ahorro por autoconsumo eléctrico para calcular los indicadores de rentabilidad del sistema agrovoltaico.

Sistema de riego

Además del beneficio energético, los sistemas agrovoltaicos aportan mejoras agronómicas relevantes. La sombra parcial generada por los módulos fotovoltaicos elevados reduce la evapotranspiración del suelo, lo que contribuye a una menor pérdida de agua por evaporación directa y, por tanto, a una menor necesidad de riego.

Diversos estudios han cuantificado este ahorro hídrico potencial en un rango de entre el 10 % y el 30 % [14] del consumo de agua, dependiendo del tipo de cultivo, la densidad de los paneles y las condiciones climáticas locales. En este proyecto se adopta un valor conservador del 15 %, alineado con los estudios citados y con las condiciones de radiación solar de la zona de Extremadura.

El consumo anual total de agua en la finca, considerando el cultivo de tomates y acelgas, asciende a 121.483,55 m³/año (ver Tabla 2). Aplicando un ahorro hídrico del 15 %

$$V_{ahorrado} = 0,15 * 121.483,55 = 12.222,53 \text{ m}^3/\text{año}$$

Ecuación 16: Volumen de agua ahorrado

Para estimar el ahorro económico, se toma el coste real del agua para riego agrícola en Extremadura, fijado en 0,04565 €/m³, conforme a las tarifas aplicadas en algunas comunidades de regantes regionales.

$$A_{agua} = 0,04565 * 12.222,53 = 832,39 \text{ €/año}$$

Ecuación 17: Ahorro anual de agua por baja de consumo

Este valor se incluirá como un ingreso adicional anual en el análisis de viabilidad económica del sistema agrovoltaico, reflejando los beneficios asociados al menor uso de agua en el riego.

Coste de la electricidad no cubierta por la instalación fotovoltaica

Aunque la instalación fotovoltaica diseñada permite cubrir una parte significativa de la demanda energética de la explotación agrícola, existen meses en los que la producción no es

suficiente para satisfacer por completo el consumo eléctrico, ya sea por una menor irradiación solar o por una mayor demanda energética. En esos casos, la energía restante debe ser adquirida de la red eléctrica, lo que representa un coste adicional para la explotación.

A partir de los datos mensuales de consumo agrícola y de producción fotovoltaica simulados para el año 1 (sin degradación) y el año 25 (con degradación acumulada del 0,5 % anual), se ha calculado el déficit energético mensual. Este corresponde a la diferencia entre el consumo y la generación en los meses en los que la instalación no cubre completamente la demanda.

El resultado de estos cálculos se resume en la siguiente Tabla:

| | Déficit año 1 | Déficit año 25 |
|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| ENE | 1368,53619 | 1632,471022 |
| FEB | 0 | 261,9636662 |
| MAR | 0 | 0 |
| ABR | 0 | 0 |
| MAY | 0 | 0 |
| JUN | 0 | 0 |
| JUL | 0 | 0 |
| AGO | 0 | 0 |
| SEP | 0 | 0 |
| OCT | 0 | 118,7746065 |
| NOV | 988,2324424 | 1281,84073 |
| DIC | 1128,91619 | 1420,071854 |
| TOT/año en kWh | 3485,684823 | 4715,12188 |
| Precio a pagar | 438,15 € | 592,69 € |

Tabla 6: Déficit anual de energía no cubierta

Dado que el déficit energético aumenta progresivamente con la degradación de los módulos, se ha optado por simplificar el análisis utilizando un coste medio constante durante toda la vida útil del sistema. Este valor se calcula como el promedio entre el coste del año 1 y el del año 25:

$$\text{Coste medio anual} = \frac{438,15 + 592,69}{2} = 515,42 \text{ €/año}$$

Ecuación 18: Coste medio anual por déficit de energía

El valor de 515,42 €/año se incluirá como un gasto operativo constante dentro del flujo de caja del proyecto, restándose del ahorro por autoconsumo eléctrico. Este enfoque permite reflejar el impacto de la energía no cubierta sin introducir complejidad innecesaria en los cálculos económicos.

7.5 AMORTIZACIÓN DE LA INVERSIÓN Y COSTE NIVELADO DE LA ELECTRICIDAD (LCOE)

Para poder comparar económicamente distintas alternativas energéticas, es habitual utilizar el coste nivelado de la electricidad o LCOE (*Levelized Cost of Electricity*), que representa el coste unitario de producción (€/kWh) teniendo en cuenta todos los gastos a lo largo de la vida útil del sistema, expresados en términos actuales. Para su cálculo es necesario, en primer lugar, determinar la amortización anual de la inversión inicial.

Amortización de la inversión

La amortización anual (A) se calcula a partir de la inversión total con tractor y el factor de amortización f_a , mediante la fórmula:

$$f_a = \frac{i * (1 + i)^N}{(1 + i)^N - 1} = \frac{0,07 * (1 + 0,07)^{25}}{(1 + 0,07)^{25} - 1} = 0,08581$$

Ecuación 19: Factor de amortización

$$A = INV * f_a = 212.077,7 * 0,08581 = 17.090,16 \text{ €}$$

Ecuación 20: Amortización anual

Coste normalizado del mantenimiento (OPEX)

El coste de operación y mantenimiento anual crece a lo largo del tiempo con una tasa del 1 % anual. Para incluirlo en el cálculo del LCOE, se acumula y actualiza usando el factor de acumulación, definido como:

$$f_{\Sigma OM} = \left(\frac{1 + r_{OM}}{1 + i} \right) * \frac{1 - k_{OM}^N}{1 - k_{OM}} = 12,8558$$

Ecuación 21: Factor de acumulación

El coste total actualizado de mantenimiento a lo largo del proyecto es:

$$OM_{actualizado} = OM_0 * f_{\Sigma OM} = 7775,2089$$

Ecuación 22: OM₀ actualizado

Y el coste anual equivalente es:

$$CN_{OM} = OM_{actualizaado} * fa = 667,1946 \text{ €}$$

Ecuación 23: Coste anual equivalente

Coste medio por energía no cubierta

Además de la inversión y los costes de mantenimiento, la instalación no cubre el 100 % de la demanda energética anual. El coste medio asociado a la electricidad que debe adquirirse de la red se ha estimado previamente en:

$$C_{red} = 515,42 \text{ €}$$

Cálculo del LCOE

Finalmente, el LCOE se obtiene como:

$$LCOE = \frac{CN_{INV} + CN_{OM} + C_{red}}{Producción\ media\ anual} = 0,25\text{€/kWh}$$

Ecuación 24: Cálculo de LCOE

Este valor representa el coste unitario real de generación de electricidad teniendo en cuenta los costes técnicos, operativos y la cobertura parcial de la demanda. El LCOE obtenido puede compararse con la tarifa eléctrica evitada (0,1276 €/kWh) para evaluar la rentabilidad del sistema, o con otros proyectos agrovoltaicos de características similares.

7.6 INDICADORES DE RENTABILIDAD DEL PROYECTO

Con el objetivo de evaluar la rentabilidad económico-financiera del sistema agrovoltaico propuesto, se calculan a continuación los principales indicadores utilizados en proyectos energéticos: el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Rentabilidad (TIR) y el Período de Retorno (PR). Estos índices permiten valorar la viabilidad del proyecto teniendo en cuenta la inversión inicial, los flujos de caja netos esperados a lo largo de la vida útil del sistema y la tasa de descuento correspondiente al coste del capital.

Flujo neto anual

El flujo neto anual de caja del proyecto representa la mejora económica anual que experimenta la explotación agrícola como resultado de la implantación del sistema agrovoltaico. Este flujo se compone tanto de ingresos evitados como de gastos operativos, y se calcula mediante la siguiente expresión:

$$F = 4.996,8 + 5.658,92 + 832,39 - (515,42 + 667,19) = 10.305,49 \text{ €}$$

Ecuación 25: Flujo de caja neto anual

En este análisis, los conceptos de ahorro (agua, combustible y electricidad) se han incorporado como beneficios económicos o ingresos evitados. Aunque no constituyen entradas monetarias directas, representan mejoras reales en la liquidez de la explotación, al eliminar gastos que se habrían producido en ausencia del sistema agrovoltaico.

Valor Actual Neto (VAN)

El Valor Actual Neto (VAN) es uno de los indicadores financieros más relevantes a la hora de evaluar la viabilidad económica de un proyecto. Representa el valor presente de todos los flujos netos de caja esperados durante la vida útil del sistema, descontados a una tasa que refleja el coste del capital (en este caso, el 7 %).

Matemáticamente, se expresa como:

$$VAN = \sum_{j=1}^N \frac{F}{(1+i)^j} = \sum_{j=1}^N \frac{10.305,49}{(1+0,07)^j} = 4.791,11$$

Ecuación 26: Cálculo de VAN

Este resultado significa que, al finalizar los 25 años de vida útil del sistema, el proyecto habrá generado un valor económico neto equivalente a 4.791,11 €, después de haber recuperado toda la inversión inicial (115.301,83 €) y descontado los costes operativos, considerando el coste del capital.

Desde una perspectiva de análisis económico, un VAN positivo indica que el proyecto no solo es capaz de devolver la inversión realizada, sino que también proporciona un rendimiento adicional por encima del mínimo requerido por los inversores (en este caso, el WACC del 7 %). Cuanto mayor sea el VAN, mayor será el valor que el proyecto aporta al titular desde un punto de vista económico.

Tasa Interna de Rentabilidad (TIR)

La Tasa Interna de Rentabilidad (TIR) es un indicador clave en la evaluación financiera de un proyecto. Representa la tasa de descuento que anula el Valor Actual Neto (VAN), es decir, aquella para la cual la suma de los flujos netos descontados es igual a la inversión inicial. En términos prácticos, indica la rentabilidad efectiva del capital invertido en el proyecto, considerando únicamente sus flujos internos de caja.

Matemáticamente, se define como la solución de la siguiente ecuación:

$$VAN = \sum_{j=1}^N \frac{F}{(1 + TIR)^j} - INV = 0$$

Ecuación 27: Cálculo de TIR

Este parámetro se ha calculado en Excel mediante la función específica de TIR, dónde se ha considerado un flujo inicial negativo correspondiente a la inversión (-115.301,83 €) seguido de 25 flujos anuales positivos constantes de 10.305,49 €.

El resultado obtenido es de 7,46%. Este valor representa la rentabilidad financiera interna del proyecto, y su interpretación es directa: si el parámetro TIR es superior a la tasa mínima de rentabilidad exigida (en este caso, el coste de capital o WACC, fijado en un 7%), el proyecto se considera rentable.

En este caso, el valor del TIR es ligeramente superior al WACC (7,46 % > 7 %), lo que indica que el proyecto sí cumple con el umbral mínimo de rentabilidad financiera. No obstante, se encuentra muy cerca del límite, lo que sugiere una rentabilidad ajustada. Este resultado refuerza las conclusiones obtenidas a partir del VAN, y apunta a que el proyecto, si bien no excepcionalmente rentable desde un punto de vista financiero, es viable, especialmente cuando se valoran también los beneficios estratégicos, ambientales y operativos que no se reflejan directamente en los flujos monetarios.

Periodo de Retorno (PR)

El Período de Retorno es el número mínimo de años necesarios para que el proyecto recupere completamente la inversión inicial a partir de los flujos netos anuales generados. Se trata de un indicador sencillo e intuitivo que permite estimar cuándo empieza a generar beneficios netos reales un proyecto, aunque no tenga en cuenta el valor temporal del dinero (a menos que se utilice la versión descontada).

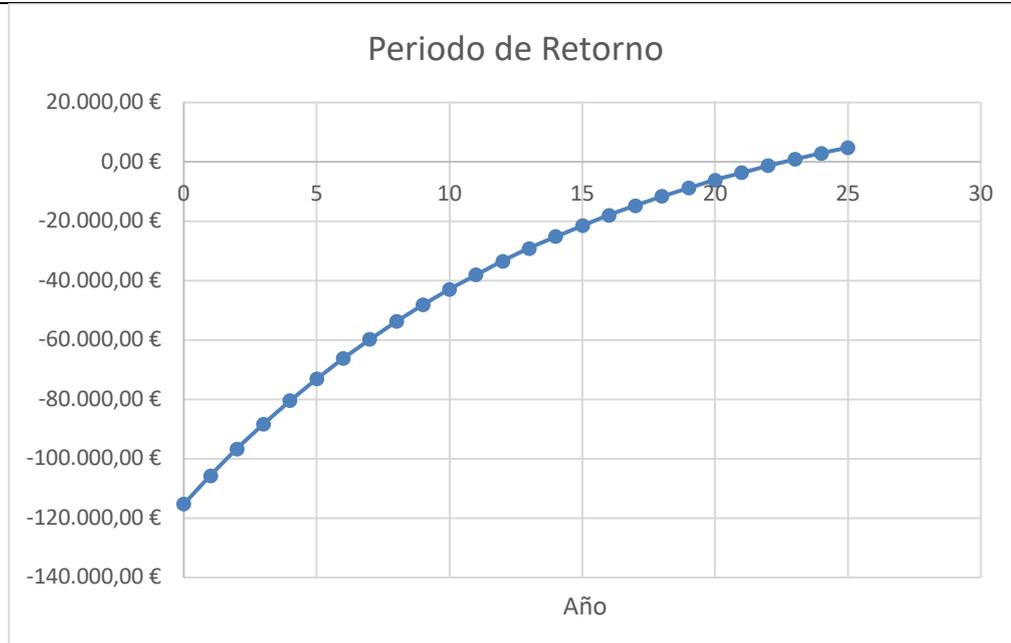
En este análisis se ha empleado la versión descontada del PR, en la que los flujos anuales se actualizan con la tasa de descuento empleada ($i=7\%$). El PR descontado se calcula como el primer año en el que la suma de los flujos netos descontados acumulados iguala o supera la inversión inicial:

$$\sum_{j=1}^{PR} \frac{F}{(1+i)^j} \geq INV$$

Ecuación 28: Cálculo del periodo de retorno

Tras realizar el cálculo se obtiene $PR = 23$ años. Este resultado indica que el proyecto necesita 23 años para recuperar la inversión inicial en términos reales (actualizados). Dado que la vida útil del sistema se ha fijado en 25 años, el proyecto sí recupera su inversión dentro del horizonte considerado, aunque lo hace en una fase tardía.

A continuación, se presenta la evolución del flujo de caja acumulado descontado a lo largo de los 25 años de vida útil del sistema, lo que permite identificar visualmente el momento en que se recupera la inversión inicial y se alcanza el equilibrio económico del proyecto.



Gráfica 7: Periodo de Retorno a lo largo de la vida útil de la inversión

7.7 CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DE VIABILIDAD ECONÓMICA

El análisis económico realizado permite evaluar la rentabilidad y sostenibilidad financiera del sistema agrovoltaico diseñado para su implantación en una finca agrícola de Extremadura. A partir de una estimación detallada de la inversión inicial, los costes operativos anuales y los ahorros derivados del autoconsumo eléctrico, la electrificación del tractor y la reducción del consumo de agua, se han calculado los principales indicadores económico-financieros del proyecto.

Los resultados obtenidos indican que el sistema genera un flujo neto anual positivo de 10.305,49 €, lo que permite recuperar la inversión en un horizonte de 23 años, dentro de la vida útil del sistema (25 años). El proyecto presenta un Valor Actual Neto (VAN) positivo de 4.794,11 €, lo que indica que, en términos actualizados, la instalación aporta valor económico. Además, la Tasa Interna de Rentabilidad (TIR) del 7,46 % supera ligeramente el coste del capital asumido (7 %), cumpliendo el umbral mínimo de rentabilidad financiera.

Aunque los indicadores financieros reflejan una rentabilidad ajustada, el proyecto destaca por su coherencia técnica, su equilibrio económico y su fuerte componente estratégico. La electrificación parcial de la actividad agrícola, la reducción de costes energéticos y la mejora en la eficiencia hídrica refuerzan la viabilidad global de la propuesta, especialmente en un contexto de transición energética, escalada de precios de combustibles fósiles y disponibilidad de ayudas públicas al autoconsumo.

En conjunto, los resultados permiten concluir que el sistema agrovoltaico propuesto es viable económicamente a largo plazo, con retornos modestos pero sólidos, y con importantes beneficios no monetarios que refuerzan su valor añadido en el ámbito agrícola y ambiental.

Capítulo 8. POSIBLES SUBVENCIONES

Aunque el análisis de viabilidad económica de la instalación agrovoltaica se ha realizado bajo un enfoque conservador, sin contemplar ayudas públicas, la existencia de múltiples programas de subvención constituye una oportunidad destacable para mejorar la rentabilidad y reducir el plazo de amortización. Estas ayudas, provenientes de distintos niveles administrativos (europeo, estatal y autonómico), están orientadas al fomento de las energías renovables, la eficiencia energética y la modernización del sector agrario, todos ellos aspectos intrínsecos al proyecto planteado.

Este capítulo identifica las principales líneas de financiación disponibles que podrían aplicarse, directa o indirectamente, al proyecto agrovoltaico, sin que su impacto haya sido incluido en el análisis económico presentado previamente.

8.1 AYUDAS A NIVEL EUROPEO

Las políticas comunitarias enmarcadas en la transición energética y la revitalización del medio rural ofrecen instrumentos financieros que pueden respaldar proyectos como el presente. Aunque estas ayudas suelen gestionarse a través de los Estados miembros y sus respectivas comunidades autónomas, su origen se encuentra en la estrategia climática y digital de la Unión Europea.

8.1.1 FONDO NEXT GENERATION EU

El instrumento europeo de recuperación *Next Generation EU* está diseñado para impulsar proyectos que contribuyan a la transformación ecológica, la resiliencia y la digitalización. A través del *Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR)* de España, se canalizan fondos hacia actuaciones como:

- Implantación de sistemas de autoconsumo renovable en zonas rurales.
- Digitalización y modernización de explotaciones agrarias.

Estas ayudas pueden cubrir hasta el 50 % de la inversión inicial, incluyendo equipamiento fotovoltaico, sistemas de almacenamiento y obra civil relacionada. [38]

8.1.2 FONDO EUROPEO AGRÍCOLA DE DESARROLLO RURAL (FEADER)

El FEADER es el principal instrumento de la Política Agrícola Común (PAC) para fomentar el desarrollo sostenible de las zonas rurales. En el marco del periodo 2023–2027, se incluyen medidas que priorizan inversiones con impacto climático, como las agrovoltaicas. Las ayudas se otorgan por comunidades autónomas y pueden financiar tanto infraestructura renovable como tecnologías de eficiencia agrícola.[39]

8.2 AYUDAS A NIVEL NACIONAL

España ha desarrollado diversas iniciativas para impulsar la transición energética y la modernización agrícola, muchas de ellas financiadas con fondos europeos. Entre las más relevantes destacan:

8.2.1 PROGRAMA DE INCENTIVOS AL AUTOCONSUMO Y ALMACENAMIENTO (RD 477/2021)

El Real Decreto 477/2021 establece un sistema de ayudas para instalaciones renovables de autoconsumo y, en su caso, almacenamiento, especialmente en entornos rurales. Sus características principales incluyen:

- Cobertura de entre el 30 % y el 50 % de la inversión subvencionable.
- Programas específicos para actividades agrarias y municipios de menos de 5.000 habitantes.
- Aplicable a costes de paneles, inversores, estructuras y obra auxiliar.

En Extremadura, la tramitación corresponde a la Dirección General de Industria, Energía y Minas.[40]

8.2.2 PLAN DE RECUPERACIÓN, TRANSFORMACIÓN Y RESILIENCIA (PRTR)

El PRTR español articula la ejecución de los fondos Next Generation EU. En relación con este proyecto destacan:

- **Componente 3:** modernización energética de explotaciones agrícolas.
- **Componente 7:** integración de energías renovables en la economía productiva.

Estas líneas ofrecen subvenciones directas, bonificaciones fiscales o préstamos preferentes, y contemplan tanto actuaciones individuales como en el marco de comunidades energéticas rurales.[41]

8.3 AYUDAS A NIVEL REGIONAL (EXTREMADURA)

La Junta de Extremadura promueve activamente el desarrollo de energías renovables y la modernización agraria. Existen varias líneas regionales que podrían aplicarse al proyecto agrovoltaico.

8.3.1 SUBVENCIONES A INVERSIONES EN ENERGÍAS RENOVABLES

Convocadas periódicamente por la Dirección General de Industria, Energía y Minas, estas ayudas están orientadas a la implantación de energía solar en explotaciones rurales. Destacan:

- Subvención a fondo perdido de hasta el 45 %, ampliable al 55 % en municipios de menos de 5.000 habitantes.
- Compatibilidad con otras ayudas (nacionales o europeas), respetando los límites de acumulación.
- Subvencionan paneles, inversores, estructuras, baterías y obra civil [42]

8.3.2 PROGRAMA DE MODERNIZACIÓN DE EXPLOTACIONES AGRARIAS (PAC EXTREMADURA)

Dentro del marco regional de la PAC, la Consejería de Agricultura convoca ayudas para inversiones que mejoren la eficiencia y sostenibilidad del sector primario. Este programa:

- Está cofinanciado por el FEADER.
- Financia entre el 40 % y el 50 % de proyectos que incorporen renovables o mejoren la eficiencia energética.
- Prioriza beneficiarios jóvenes, explotaciones en zonas despobladas o propuestas innovadoras, como la agrovoltaica [43]

8.4 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO

Con el objetivo de facilitar la comprensión de las distintas líneas de financiación disponibles, se presenta una tabla resumen que sintetiza las ayudas más relevantes para el presente proyecto agrovoltaico. Se clasifican según el nivel administrativo (europeo, nacional o regional), el porcentaje de subvención que pueden alcanzar y los requisitos generales que deben cumplirse para optar a ellas.

| Nombre del programa | Nivel | % de ayuda | Requisitos principales |
|--|--------------|-----------------------|---|
| Next Generation EU (vía PRTR) | Europeo | 30 % – 50 % | Proyecto alineado con transición ecológica, autoconsumo, digitalización. Gestionado por CCAA. |
| Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural (FEADER) | Europeo | Hasta 50 % | Modernización agrícola, uso eficiente de recursos, gestión autonómica vía PAC. |
| Programa de Incentivos al Autoconsumo (RD 477/2021) | Nacional | 30 % – 50 % | Instalación renovable en sector agrícola o en municipios <5.000 hab.; gestionado por CCAA. |
| Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR) | Nacional | Variable (hasta 50 %) | Proyectos en componentes 3 y 7 del PRTR; incluye ayudas directas y financieras. |
| Subvenciones a energías renovables (Junta de Extremadura) | Regional | 45 % – 55 % | Instalación fotovoltaica en entorno rural; mayores ayudas en pequeños municipios. |

| | | | |
|--|----------|-------------|--|
| Ayudas a la modernización de explotaciones agrarias (PAC Extremadura) | Regional | 40 % – 50 % | Proyecto de eficiencia energética y uso de renovables en la finca. Prioridad si joven agricultor o zona rural. |
|--|----------|-------------|--|

Tabla 7: Resumen de posibles subvenciones

Compatibilidad entre ayudas: Algunas de estas líneas de subvención pueden combinarse, siempre que se respete el límite máximo de cofinanciación fijado por la normativa europea o estatal, que suele situarse en torno al 65 % del coste total subvencionable. Es imprescindible revisar las bases reguladoras de cada convocatoria.

Influencia de la ubicación: El hecho de que la instalación se ubique en un entorno rural de baja densidad de población, como ocurre en gran parte del territorio extremeño, permite acceder a porcentajes de ayuda más elevados, al considerarse zonas prioritarias para el desarrollo sostenible.

Criterios de priorización: Algunos programas otorgan puntuación adicional a proyectos promovidos por jóvenes agricultores, que incorporen tecnologías innovadoras o que se localicen en áreas en riesgo de despoblación. Incluir estos elementos en la solicitud puede aumentar significativamente las posibilidades de concesión.

Requisitos de tramitación: La mayoría de las convocatorias exigen la presentación de un proyecto técnico, documentación que justifique la viabilidad económica y ambiental, así como el cumplimiento de la normativa sectorial vigente. La planificación adecuada del calendario de solicitud resulta fundamental para no perder convocatorias clave.

Capítulo 9. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Este capítulo recoge y analiza los principales resultados obtenidos durante el desarrollo del proyecto de instalación agrovoltaica en una finca de cultivo de tomates en Extremadura. Se integran los aspectos técnicos, económicos, legales y medioambientales con una valoración crítica de su viabilidad en condiciones reales. El enfoque adoptado busca evaluar tanto el rendimiento esperado como las limitaciones y condicionantes del sistema en un escenario agrícola concreto.

9.1 RESULTADOS TÉCNICOS

- **Dimensionamiento:** La configuración elegida consta de 56 módulos fotovoltaicos Aptos Solar DNA-144-B10 de 540 W, conectados a un inversor Canadian Solar CSI-25KTL-GS-FL (25,58 kW). El sistema está optimizado para maximizar la producción sin sobredimensionar, respetando un DC/AC ratio de aproximadamente 1,18, lo que favorece el aprovechamiento de picos de irradiancia sin penalizar en exceso en eficiencia del inversor.
- **Producción energética:** Según la simulación realizada en SAM para las condiciones meteorológicas de Don Benito, se espera una producción anual de 58.589 kWh en el primer año. El Performance Ratio (PR) de 0,78 indica un buen comportamiento del sistema frente a pérdidas térmicas, eléctricas y de sistema. La producción mensual sigue un perfil estacional típico, con máximos entre mayo y agosto.
- **Degradación:** Se ha aplicado una degradación lineal del 0,5 % anual, valor conservador para módulos bifaciales de calidad. En el año 25, la capacidad de generación estimada se reduce al 88 % del valor inicial, resultando en una producción de unos 51.560 kWh, dato que se ha considerado en el análisis económico para proyectar los costes residuales de energía y evaluar la sostenibilidad a largo plazo.
- **Cobertura de demanda:** El sistema logra cubrir prácticamente toda la demanda anual, incluyendo el consumo del sistema de riego por goteo y la carga diaria de un

tractor eléctrico con batería de 110 kWh, salvo en algunos meses de invierno donde se requiere energía suplementaria de red.

9.2 RESULTADOS ECONÓMICOS

- **Inversión inicial (CAPEX):** La inversión total asciende a 115.301,83 €, incluyendo todos los componentes del sistema, la estructura elevada adaptada a uso agrícola, y la instalación. Este valor ha sido obtenido a partir de precios medios del mercado en 2025.
- **Gastos operativos (OPEX):** Se estima un coste anual de mantenimiento de 1.153,02 €, equivalente al 1 % del CAPEX, cubriendo limpieza, inspecciones y pequeñas reparaciones.
- **Ahorro por autoconsumo:** El coste evitado por no consumir electricidad de red se estima en 7.438,90 €/año, considerando un precio medio de mercado de 0,127 €/kWh. Este ahorro representa el principal motor de rentabilidad de la instalación.
- **Ahorro adicional:**
 - *Riego:* La energía solar no solo permite operar el sistema de bombeo sin necesidad de recurrir a la red eléctrica, sino que además la sombra parcial proyectada por los paneles sobre el terreno contribuye a reducir la evaporación del agua, especialmente en los meses más cálidos. Este efecto permite optimizar el uso hídrico del cultivo y disminuir el volumen de agua requerido. Se han estimado 832,39 €/año de ahorro.
 - *Tractor eléctrico:* El uso de maquinaria agrícola eléctrica alimentada por energía fotovoltaica permite eliminar costes asociados al gasóleo agrícola, con un ahorro anual de unos 4.015 €, basado en un consumo diario y el precio medio de gasóleo B.
- **Amortización:** En ausencia de subvenciones, el periodo simple de retorno de la inversión se sitúa en 23 años, debido al alto coste inicial de la instalación y al carácter moderado del ahorro anual generado. No obstante, este valor debe interpretarse en el contexto de una instalación con una vida útil estimada de 25 años, lo que permite

recuperar prácticamente la totalidad de la inversión en su horizonte de funcionamiento.

En un escenario con acceso a ayudas públicas (como las disponibles a través de los fondos Next Generation, la PAC o planes autonómicos para modernización agraria), que pueden cubrir hasta un 30 % de la inversión inicial, el periodo de retorno podría reducirse significativamente, situándose por debajo de los 16 años, lo que mejoraría sustancialmente la rentabilidad del proyecto.

9.3 RESULTADOS LEGALES Y ADMINISTRATIVOS

El proyecto se ha planteado dentro del régimen de autoconsumo con excedentes sin compensación, lo que simplifica el trámite de conexión a red y permite una mayor autonomía energética para la explotación.

Se han identificado todos los trámites administrativos necesarios para la legalización de la instalación, que incluyen:

- Solicitud de informe de compatibilidad urbanística.
- Evaluación de impacto ambiental, en caso de requerirse.
- Elaboración y visado del proyecto técnico.
- Comunicación previa de obra o licencia según normativa local.
- Tramitación ante la consejería de industria para la autorización de puesta en servicio.

Si bien la normativa sobre agrovoltaica en España aún no está completamente desarrollada, el marco legal vigente permite su implantación siempre que se cumplan los requisitos de compatibilidad con el uso agrícola del suelo y las condiciones urbanísticas del municipio correspondiente. Este tipo de proyectos requiere una correcta coordinación con las autoridades locales y autonómicas desde fases tempranas.

Una ventaja significativa en términos de planificación es la posibilidad de realizar la instalación fotovoltaica durante los meses en los que el terreno se encuentra en barbecho o fuera del ciclo productivo del tomate. Esta estrategia permite minimizar el impacto sobre la

explotación agrícola, evitando interferencias en la siembra, crecimiento y recolección del cultivo principal. De esta forma, se optimiza el calendario de ejecución sin comprometer la productividad agrícola ni generar pérdidas por paralización de la actividad.

9.4 LIMITACIONES Y RIESGOS

Aunque el proyecto presenta una viabilidad general sólida, existen diversas limitaciones y riesgos que pueden afectar a su ejecución y rendimiento a lo largo del tiempo. A continuación, se describen los principales:

- **Estacionalidad:** La producción fotovoltaica presenta una marcada variación estacional, con una generación significativamente inferior en los meses de invierno. Esta circunstancia no se ajusta completamente a la demanda energética agrícola, que, aunque también presenta cierta estacionalidad, puede requerir consumos puntuales en épocas de baja irradiancia.
- **Ausencia de almacenamiento energético:** La decisión de prescindir de sistemas de baterías reduce la inversión inicial (CAPEX) y mejora la rentabilidad del proyecto, pero conlleva una menor capacidad de aprovechamiento de los excedentes solares generados durante el día. Estos excedentes no pueden ser almacenados ni utilizados en otros momentos del día, y tampoco se compensa económicamente su vertido a red, lo que implica una pérdida potencial de valor energético.
- **Incógnitas normativas:** La falta de una legislación específica sobre agrovoltaica en España introduce un riesgo regulatorio importante. Si bien el marco vigente permite estas instalaciones bajo ciertos requisitos, la posible evolución de la normativa puede introducir cambios en los procedimientos de legalización, los requisitos de compatibilidad urbanística o los criterios para la percepción de ayudas. Este riesgo normativo debe considerarse especialmente en proyectos a largo plazo.
- **Dependencia de la tramitación administrativa:** El éxito del proyecto está condicionado a la obtención de diversos permisos y autorizaciones por parte de administraciones locales y autonómicas. Retrasos en la emisión de informes, cargas burocráticas o interpretaciones restrictivas por parte de los organismos competentes

podrían afectar al calendario de ejecución e incluso comprometer la viabilidad legal del proyecto.

- **Riesgos agronómicos y de integración:** Aunque se ha considerado la compatibilidad agronómica del sistema agrovoltaico con el cultivo del tomate y aclega, podrían surgir dificultades imprevistas relacionadas con la gestión del terreno, accesibilidad para maquinaria o interferencias entre estructuras y labores agrícolas. Una mala planificación en este sentido podría comprometer la eficiencia operativa de la explotación.
- **Riesgos financieros y de mercado:** El análisis económico se ha realizado considerando precios de energía y costes actuales. Sin embargo, fluctuaciones futuras en el precio de la electricidad, de los materiales o en los costes de mantenimiento podrían alterar la rentabilidad del sistema. Asimismo, el acceso a financiación con condiciones favorables puede ser determinante para llevar a cabo la inversión inicial.

9.5 VALORACIÓN GLOBAL

Este proyecto demuestra una viabilidad técnica, económica y medioambiental sólida para la integración de energía fotovoltaica en una explotación agrícola de regadío en Extremadura. La instalación agrovoltaica diseñada permite cubrir la demanda energética del sistema de riego y de maquinaria eléctrica, contribuyendo así a la electrificación del campo y a la reducción de la dependencia de combustibles fósiles. Además, la incorporación de estructuras elevadas garantiza la compatibilidad con el cultivo del tomate y aclega, sin afectar a la productividad agrícola del terreno.

Desde el punto de vista económico, si bien el periodo de retorno sin subvenciones alcanza los 23 años, este valor debe interpretarse en el marco de una vida útil estimada de 25 años. La inclusión de ayudas públicas, ampliamente disponibles en el marco del PERTE Agroalimentario, los fondos Next Generation y la PAC, podría reducir notablemente dicho periodo, mejorando la rentabilidad y facilitando la adopción del modelo.

En términos medioambientales, el sistema contribuye a la reducción de emisiones de CO₂, al promover el uso de energía limpia y fomentar prácticas agrícolas más eficientes en el uso del agua, gracias a la sombra parcial generada por los paneles. Esto lo convierte en una herramienta relevante para la adaptación del sector agrícola al cambio climático, especialmente en regiones con estrés hídrico creciente como Extremadura.

No obstante, la implantación práctica del proyecto está condicionada por una serie de factores legales, administrativos y operativos, que requieren una planificación detallada y una adecuada coordinación con las autoridades competentes. La falta de una normativa específica sobre agrovoltaica añade un grado de incertidumbre, aunque el marco actual permite avanzar bajo determinadas condiciones.

En conjunto, el estudio corrobora que la agrovoltaica representa una solución innovadora, eficiente y adaptable para impulsar la sostenibilidad en el medio rural. La replicabilidad de este modelo en otras fincas agrícolas dependerá del contexto agronómico, la capacidad financiera del promotor y el grado de desarrollo normativo en el territorio correspondiente.

Capítulo 10. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

10.1 CONCLUSIONES GENERALES

Este Trabajo Fin de Grado ha permitido realizar un análisis integral de la viabilidad técnica, económica, legal y medioambiental de una instalación agrovoltaica aplicada a una explotación de cultivo de tomate en Extremadura. A partir de los resultados obtenidos, pueden extraerse las siguientes conclusiones:

- **Desde el punto de vista técnico**, se ha demostrado que una instalación fotovoltaica elevada es compatible con el desarrollo del cultivo, respetando los requerimientos agronómicos y permitiendo un uso dual del terreno.
- **La cobertura energética** obtenida permite abastecer de forma autónoma el sistema de riego por goteo y la recarga diaria de un tractor eléctrico, contribuyendo a la autosuficiencia energética de la explotación.
- **El análisis económico**, planteado de forma conservadora y sin considerar ayudas públicas, arroja una rentabilidad positiva gracias al ahorro en costes energéticos, de agua y combustible. Sin embargo, cabe destacar que, desde una perspectiva puramente económica, la opción más rentable sería utilizar la totalidad de la parcela disponible para la instalación de paneles fotovoltaicos con el objetivo de maximizar la generación y vender la energía excedente a la red.
- **En términos legales y administrativos**, se ha identificado una hoja de ruta realista para la tramitación del proyecto, con tiempos estimados y posibles cuellos de botella, lo cual aporta valor práctico al estudio.
- **Desde una perspectiva ambiental**, el sistema contribuye significativamente a la reducción de emisiones, al ahorro hídrico y a una gestión más eficiente de los recursos naturales.

10.2 TRABAJOS FUTUROS

A partir del desarrollo de este estudio, se proponen las siguientes líneas de investigación y mejora:

Conexión a red y venta de excedentes

Si bien el marco normativo actual permite la conexión de instalaciones fotovoltaicas a la red eléctrica, en la localización concreta del presente proyecto no existe actualmente capacidad de conexión disponible, lo que impide técnicamente la posibilidad de verter energía excedente a la red. Esta limitación no es legal, sino de infraestructura: la red de distribución más cercana no tiene puntos de acceso libres para nuevas instalaciones de generación.

No obstante, de cara al futuro, si se produjeran ampliaciones o refuerzos de la red que habilitaran nuevos puntos de evacuación en la zona, se abriría una interesante oportunidad para rediseñar el sistema, aprovechando una mayor parte del terreno agrícola para la generación de energía fotovoltaica y vendiendo los excedentes al mercado eléctrico.

Este nuevo enfoque permitiría:

- Incrementar la potencia instalada más allá de la estrictamente necesaria para cubrir el consumo agrícola.
- Generar ingresos adicionales mediante la venta de energía mediante compensación simplificada, venta directa a mercado (OMIE) o contratos PPA.
- Reducir significativamente el periodo de retorno de la inversión (payback), mejorando la rentabilidad global del proyecto.

Este cambio de escenario implicaría también:

- Nuevos estudios técnicos para dimensionar adecuadamente las infraestructuras eléctricas necesarias (centros de transformación, líneas de evacuación).
- Una reevaluación del CAPEX y OPEX con los elementos adicionales necesarios para conexión a red.

- Un análisis normativo más complejo, incluyendo la tramitación de acceso y conexión ante el operador de red y, probablemente, una autorización ambiental ordinaria.

Por tanto, se propone como trabajo futuro la elaboración de un estudio complementario que contemple esta posibilidad si la situación de la red lo permite, comparando económicamente el modelo agrovoltaico de autoconsumo con un modelo híbrido o puramente generador, y evaluando su impacto en la viabilidad a largo plazo.

Capítulo 11. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Iberdrola, «Iberdrola. Energía agrovoltáica: ¿es posible generar electricidad y cultivar en un mismo terreno?» [En línea]. Disponible en: : <https://www.iberdrola.com/innovacion/energia-agrovoltáica>
- [2] Energiaestrategica, «Energía Estratégica. España ya cuenta con 14 proyectos agrovoltáicos por más de 1250 MW instalados.» [En línea]. Disponible en: <https://energiaestrategica.es/agrovoltáica>
- [3] «Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Medioambiental (IMIDA). Proyecto piloto para la integración de cultivos y energía fotovoltaica.» [En línea]. Disponible en: <https://www.imida.es/-/ps-agrovoltáica>
- [4] «Cadena SER Palencia. El Itagra y la Diputación abordan el uso dual de la tierra para fotovoltaicas y agricultura.» [En línea]. Disponible en: <https://cadenaser.com/castillayleon/2025/02/26/el-itagra-y-la-diputacion-abordan-el-uso-dual-de-la-tierra-para-fotovoltaicas-y-agricultura-radio-palencia/>
- [5] «Gutiérrez Labrador. ¿Qué es el suelo rústico? Definición, tipos y usos.» [En línea]. Disponible en: <https://gutierrezlabrador.com/que-es-el-suelo-rustico/>
- [6] «Agrawdata. Características y manejo de los suelos francos en la agricultura.» [En línea]. Disponible en: <https://agrawdata.com/blog/suelos-francos/>
- [7] «Wikipedia. Compactación del suelo.» [En línea]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Compactaci%C3%B3n_del_suelo
- [8] «Wikipedia. Fertilidad del suelo.» [En línea]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Fertilidad_del_suelo
- [9] «WeatherSpark. Clima promedio en Don Benito, España, durante todo el año.» [En línea]. Disponible en: <https://es.weatherspark.com/y/34227/Clima-promedio-en-Don-Benito-España-durante-todo-el-año>
- [10] «FAO. (2021). Guía técnica del cultivo de tomate. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.»
- [11] «Goetzberger, A., & Zastrow, A. (1982). “On the coexistence of solar-energy conversion and plant cultivation.” *International Journal of Solar Energy*, 1(1), 55–69.»
- [12] «Riaz, A., et al. (2020). “Shading and its effects on leafy vegetables under semi-arid conditions.” *Journal of Agronomy and Crop Science*, 206(3), 400–410.»
- [13] «Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA). (2019). Fichas técnicas de cultivo: Acelga.»
- [14] «Barron-Gafford, G.A., et al. (2019). “Agrivoltaics provide mutual benefits across the food–energy–water nexus in drylands.” *Nature Sustainability*, 2, 848–855.»
- [15] «Dupraz, C., et al. (2011). “Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use: Towards new agrivoltaic schemes.” *Renewable Energy*, 36(10), 2725–2732.»
- [16] «Weselek, A., et al. (2019). “Agrophotovoltaic systems: applications, challenges, and opportunities. A review.” *Agronomy for Sustainable Development*, 39, 35.»
- [17] «InfoAgro. Cultivo de la acelga: recomendaciones agronómicas.» [En línea]. Disponible en: <https://www.infoagro.com/hortalizas/acelga.htm>
- [18] «i-DE (Grupo Iberdrola). Mapa de capacidad de acceso. Actualización 25 de marzo de 2025.» [En línea]. Disponible en: https://www.i-de.es/documents/1951486/4922361/MapaDeCapacidad_iDE_25_Marzo_2025.pdf

- [19] Unión Europea, «Directiva (UE) 2018/2001 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 11 de diciembre de 2018, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables», Bruselas, L 328/82, dic. 2018. [En línea]. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A32018L2001>
- [20] Comisión Europea, «Comunicación de la Comisión: “Fit for 55” – Cumplimiento del objetivo climático de la UE para 2030 en el marco del Pacto Verde Europeo», jul. 2021. [En línea]. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX:52021DC0550>
- [21] Unión Europea, «Reglamento (UE) 2020/852 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 18 de junio de 2020, relativo al establecimiento de un marco para facilitar las inversiones sostenibles», jun. 2020. [En línea]. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A32020R0852>
- [22] «Ley 24/2013 del Sector Eléctrico». [En línea]. Disponible en: <https://www.boe.es/boe/dias/2013/12/27/pdfs/BOE-A-2013-13645.pdf>
- [23] BOE, «Real Decreto 244/2019». [En línea]. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2019/04/05/244/dof/spa/pdf>
- [24] BOE, «Ley 7/2021 de Cambio Climático y Transición Energética». [En línea]. Disponible en: <https://www.boe.es/boe/dias/2021/05/21/pdfs/BOE-A-2021-8447.pdf>
- [25] Junta de Extremadura, «Decreto 189/2022». [En línea]. Disponible en: <https://doe.juntaex.es/pdfs/doe/2022/160o/21040182.pdf>
- [26] Junta de Extremadura, «Plan Extremeño Integrado de Energía y Clima (PEIEC) 2021-2030». [En línea]. Disponible en: http://industriaextremadura.juntaex.es/kamino/attachments/article/14045/PEIEC_v3.pdf
- [27] Junta de Extremadura, «Ley 5/2010 de Prevención y Calidad Ambiental de Extremadura». [En línea]. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2010-11187>
- [28] «Ley 7/1985 Reguladora de las Bases del Régimen Local». [En línea]. Disponible en: <https://www.boe.es/boe/dias/1985/04/03/pdfs/A08945-08964.pdf>
- [29] «Decreto 189/2022 de Extremadura». [En línea]. Disponible en: <https://doe.juntaex.es/pdfs/doe/2022/189o/22062856.pdf>
- [30] «Ley 5/2010 de Prevención y Calidad Ambiental de Extremadura». [En línea]. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2010-11187>
- [31] «Ley 5/1999 de Urbanismo y Ordenación Territorial de Extremadura (LOTUS)». [En línea]. Disponible en: <https://sitex.juntaex.es/SITEX/pages/lotus>
- [32] «Viabilidad económica de proyectos energéticos. Departamento de Ingeniería Mecánica.» [En línea]. Disponible en: [Viabilidad economica PFCs_2024_25.pdf](#)
- [33] «Cronoshare. ¿Cuánto cuesta el mantenimiento de placas solares?» [En línea]. Disponible en: <https://www.cronoshare.com/cuanto-cuesta/mantenimiento-placas-solares>
- [34] «IRENA (2020). Renewable Power Generation Costs in 2020. International Renewable Energy Agency.»
- [35] «NREL (2020). U.S. Solar Photovoltaic System and Energy Storage Cost Benchmark: Q1 2020. National Renewable Energy Laboratory.»
- [36] «Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Histórico de precios PVPC 2024.» [En línea]. Disponible en: <https://www.costeenergia.es/historico/pvpc-2024>
- [37] «Diesel o Gasolina. Precio del gasóleo B hoy en España. Consultado el 3 de junio de 2025.» [En línea]. Disponible en: <https://www.dieselogasolina.com/precio-del-gasoleo-b-o-agricola.html>
- [38] «Next Generation EU -Comisión Europea». [En línea]. Disponible en: https://next-generation-eu.europa.eu/index_es
- [39] «Política agrícola común 2023-2027». [En línea]. Disponible en: https://agriculture.ec.europa.eu/common-agricultural-policy/cap-overview/cap-2023-27_es

-
- [40]BOE, «Real Decreto 477/2021». [En línea]. Disponible en:
https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2021-10824
- [41]«Plan de Recuperación Transformación y Resiliencia». [En línea]. Disponible en:
<https://planderecuperacion.gob.es>
- [42]«Junta de Extremadura - Subvenciones Energía». [En línea]. Disponible en:
<http://industriaextremadura.juntaex.es/kamino/index.php/ayudas-y-subvenciones-menusuperior>
- [43]«PAC Extremadura - Ayudas a modernización». [En línea]. Disponible en:
<https://www.juntaex.es/w/1996>

ANEXO I

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título

Estudio de viabilidad de una instalación Agrovoltaica

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el curso académico 2024-2025 es de mi autoría, original e inédito y no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Elena Sánchez Tejedor Fecha: 17/ 06/ 2025



Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Iñigo Sanz Fernández Fecha: 17/ 06/ 2025