

UNIVERSIDAD EUROPEA DE CANARIAS
ESCUELA DE ARQUITECTURA
MÁSTER UNIVERSITARIO EN ENERGÍAS RENOVABLES
PROYECTO FIN DE MÁSTER



Universidad
Europea CANARIAS

**“Diseño de un sistema híbrido solar con
almacenamiento mediante baterías para la
descarbonización del sector olivarero en zonas
rurales de Andalucía”**

Autores:

Jessica Maribel Velásquez Torres
Santiago Araujo Rendon
Pablo Serrano Larrea

Tutor:

Alejandro Lara Hidalgo

SEPTIEMBRE 2025

Resumen:

El presente Trabajo Fin de Máster aborda el diseño e implementación de una instalación fotovoltaica de autoconsumo con venta de excedentes y sistema de almacenamiento en una almazara ubicada en Baeza (Jaén). El objetivo principal del proyecto es avanzar en la descarbonización de la industria olivarera, reduciendo su dependencia energética de fuentes convencionales, al mismo tiempo que se genera un impacto socioeconómico positivo en la región mediante la creación de empleo cualificado vinculado al sector de las energías renovables.

Dado que el consumo eléctrico de las almazaras se concentra principalmente en los cinco meses de campaña (de noviembre a marzo), la instalación se ha dimensionado para reducir el coste energético durante ese periodo, logrando una cobertura directa de alrededor del 15 % mediante energía solar. La integración de un sistema de baterías permite optimizar el autoconsumo, aplicando estrategias de carga en horas valle y descarga en horas punta, lo que contribuye a aumentar el ahorro energético.

Durante los meses fuera de campaña, en los que el consumo de la almazara es mínimo, la energía generada por la instalación fotovoltaica se inyecta a la red, generando ingresos adicionales a través de la venta de excedentes. En conjunto, este proyecto no solo mejora la eficiencia energética y la sostenibilidad económica de la almazara, sino que representa un modelo replicable para otras industrias agroalimentarias de la región.

Palabras claves: Fotovoltáica – Sistema de almacenamiento – Olivar – Energías Renovables – Descarbonización

Abstract:

This Master's Thesis addresses the design and implementation of a self-consumption photovoltaic installation with surplus sales and a storage system at an olive oil mill located in Baeza (Jaén). The main objective of the project is to advance the decarbonization of the olive industry, reducing its energy dependence on conventional sources, while generating a positive socioeconomic impact in the region through the creation of skilled employment linked to the renewable energy sector.

Given that the olive oil mills' electricity consumption is mainly concentrated during the five months of the harvest (from November to March), the installation has been sized to reduce energy costs during this period, achieving direct solar energy coverage of approximately 15%. The integration of a battery system optimizes self-consumption by implementing charging strategies during off-peak hours and discharging during peak hours, which contributes to increased energy savings.

During the off-season, when the mill's consumption is minimal, the energy generated by the photovoltaic system is injected into the grid, generating additional income through the sale of surplus energy. Overall, this project not only improves the mill's energy efficiency and economic sustainability but also represents a replicable model for other agri-food industries in the region.

Keywords: Photovoltaic – Storage system – Olive grove – Renewable energy – Decarbonization.

ÍNDICE

1. Introducción	6
1.1. Justificación del proyecto	6
1.2. Alcance de proyecto	7
2. Objetivos generales y específicos	7
2.1. Objetivo general	7
2.2. Objetivos específicos.....	8
3. Legislación aplicable	8
3.1. Legislación autonómica de Andalucía	8
3.2. Legislación Nacional	8
3.3. Legislación Europea	9
4. Contexto tecnológico y energético.....	9
4.1. Panorama energético del sector agrícola en Andalucía	9
4.2. Tecnología de generación solar fotovoltaica	10
4.3. Tecnología de almacenamiento energético con baterías	13
4.3.1. Sistema de almacenamiento mediante baterías	14
4.3.2. Batería de Ion-Litio	15
4.3.3. Aplicaciones del almacenamiento con baterías en energías renovables.....	17
5. Análisis del sector olivarero	18
5.1. Localización y caracterización de la zona de estudio	18
5.1.1. Ubicación del emplazamiento seleccionado.....	19
5.1.2. Caracterización geográfica y geológica.....	20
5.1.3. Condiciones climáticas	21
5.1.4. Importancia estratégica del sector olivarero	22
5.2. Selección del emplazamiento	22
5.3. Perfil energético del olivar y las almazaras	24
5.3.1. Consumo eléctrico	24
6. Diseño del sistema fotovoltaico con almacenamiento en baterías	26
6.1. Generación solar fotovoltaica	26
6.1.1. Dimensionamiento de instalación FV y componentes.....	26
6.2. Sistema de almacenamiento con baterías	30
6.2.1. Tipología de baterías seleccionadas y criterio de elección	30
6.2.2. Dimensionamiento de banco de baterías y parámetros operativos	30
6.2.3. Estrategia de carga, descarga y autonomía energética	31
6.3. Análisis de generación y consumo	32
7. Beneficio ambiental y social	36
7.1. Reducción de emisiones y beneficios ambientales	36
7.2. Sustitución de combustibles fósiles.....	36
7.3. Beneficio para el desarrollo rural.....	36

8. Análisis económico y de viabilidad	37
8.1. Inversión inicial estimada.....	38
8.2. Ahorro energético y retorno de inversión	38
8.3. Valor añadido del sistema de baterías	39
8.4. Venta de excedentes.....	40
8.5. Comparativa económica del sistema FV con y sin sistema de almacenamiento	41
8.6. DAFO	43
Fortalezas	43
Debilidades	43
Oportunidades	44
Amenazas	44
9. Conclusiones.....	45
10. Bibliografía.....	47

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Evolución del consumo final del sector primario por fuentes. (Agencia Andaluza de Energía, 2023).	10
Ilustración 2. Evolución del precio del módulo fotovoltaico (1975-2020) (International Energy Agency, 2020)	11
Ilustración 3. Evolución de generación de electricidad solar fotovoltaica (International Energy Agency, 2021), (REE, 2025)	12
Ilustración 4. Evolución global de las instalaciones acumuladas de energía fotovoltaica, Con asterisco la previsión para los próximos años (B. I. (BE). F. the non-I. P. countries: I. K. (RTS C. A. J.-W. (EU-J. J. D. (UNEF). IEA PVPS Reporting Countries, E. B. A. V. R. M. de l'Epine (Becquerel I. Gaëtan Masson, and I. P. T. 1 Manager. Gaëtan Masson", 2023)	13
Ilustración 5. Inversión mundial en redes y almacenamiento. (IEA, 2025)	13
Ilustración 6. Capacidad global acumulada de Potencia y Energía. (VF Volta Foundation, 2025)	14
Ilustración 7. Sistemas de almacenamiento en baterías a nivel de país/región. (VF Volta Foundation, 2025)	15
Ilustración 8. Estructura batería ion-litio. (Joysun New Energy, 2023).....	16
Ilustración 9. Precio de paquete de baterías y células 2013-2024. (VF Volta Foundation, 2025)	16
Ilustración 10. Proveedores de materiales a nivel mundial. (VF Volta Foundation, 2025).....	17
Ilustración 11. Localización de Baeza (Jaén)	19
Ilustración 12. Vista satelital del emplazamiento seleccionado	20

Ilustración 13. Mapa topográfico. Visor Rediam.....	20
Ilustración 14. Mapa cartográfico. Visor Rediam.....	21
Ilustración 15. Temperatura media mes de julio de 1961-2000.....	21
Ilustración 16. Temperatura media mes de enero de 1961-2000.	22
Ilustración 17. Radiación Global Horizontal	23
Ilustración 18. Temperatura Ambiente Media	23
Ilustración 19. Energía inyectada a red	24
Ilustración 20. Porcentaje del consumo eléctrico por fases.....	26
Ilustración 21. Implantación FV con mapa de rendimientos de los módulos	27
Ilustración 22. Módulo fotovoltaico - JA Solar JAM72S30 540 MR.....	27
Ilustración 23. Estructura coplanar - Sunfer.....	28
Ilustración 24. Inversor - Huawei SUN2000-I00KTL-M2	28
Ilustración 25. Cable -Topsolar PV H1Z2Z2-K.....	29
Ilustración 26. SmartLogger3000A	29
Ilustración 27. Smart Power Sensor DTSU666-H.....	29
Ilustración 28. Sistema de almacenamiento -Huawei LUNA2000-200KWH-2H1 ..	30
Ilustración 29. Gráficas consumo y producción en enero y febrero	33
Ilustración 30. Gráfica consumo y producción en marzo y abril	33
Ilustración 31. Gráfica consumo y producción en diciembre	33
Ilustración 32. Producción de FV en abril y mayo	35
Ilustración 33. Producción de FV en junio y julio	35
Ilustración 34. Producción de FV en agosto y septiembre	35
Ilustración 35. Producción de FV en octubre	35
Ilustración 36. Precio de la luz por hora, de un día promedio	39
Ilustración 37 Producción de energía, dentro y fuera de campaña	40
Ilustración 38 Comparativa de retorno de inversión y beneficios de sistemas con y sin batería.....	42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Impacto de la industria FV en la creación de empleo (Segura E et al, 2023)	7
Tabla 2. Dato de Baeza - Fuente: PVGIS TMY 5.2	23
Tabla 3. Procesos y consumos de una almazara	25
Tabla 4. Tabla resumen producción vs consumo	34
Tabla 5. Producción de energía FV por hora en un día promedio de cada mes	36
Tabla 6. Presupuesto de la instalación.....	38
Tabla 7 Producción de energía, dentro y fuera de campaña	40
Tabla 8 Beneficios por la venta de excedente por meses	40
Tabla 9. Recuperación de la inversión.....	41
Tabla 10 Comparativa de retorno de la inversión y benefició de ambos escenarios en 15 años	42

I. Introducción

En la búsqueda de soluciones energéticas sostenibles, la integración de sistemas de energía solar fotovoltaica con almacenamiento mediante baterías se presenta como una alternativa clave para reducir las emisiones a la atmósfera y avanzar hacia un modelo energético más limpio. Este proyecto pone el foco en el sector olivarero andaluz, caracterizado por una alta demanda energética, y propone un modelo que permita cubrir de forma eficiente las necesidades eléctricas tanto en explotaciones agrícolas como en almazaras. En esta sección se justificará la importancia de esta solución tecnológica, subrayando su papel en la transición hacia un sistema agrícola más limpio, autosuficiente y resiliente en entornos rurales.

I.1. Justificación del proyecto

El sector olivarero andaluz, motor económico en zonas rurales de Andalucía, presenta una alta demanda energética tanto en actividades agrícolas como industriales. Actualmente, gran parte de esta energía proviene de fuentes no renovables, lo que contribuye al aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero y a una elevada dependencia energética externa. Ante este escenario, la implementación de un sistema basado en energía solar fotovoltaica con almacenamiento en baterías se presenta como una solución limpia, eficiente y adaptable. Este proyecto no solo pretende reducir la huella ambiental de las operaciones en el olivar, sino también demostrar la viabilidad técnica y económica de integrar energías renovables gestionables en sectores agrícolas tradicionales.

La descarbonización del sector agrícola en zonas rurales no solo responde a objetivos medioambientales, sino también a una necesidad social y económica urgente. Andalucía, con una de las mayores tasas de radiación solar de Europa, cuenta con un elevado potencial para desarrollar soluciones energéticas sostenibles como la energía solar fotovoltaica. Sin embargo, esta oportunidad coexiste con una profunda brecha territorial y social, especialmente en las provincias del interior como Jaén. Según el Informe AROPE 2023, el 37,5 % de la población andaluza vive en riesgo de pobreza o exclusión social, una cifra que asciende al 39,6 % en las zonas rurales (Red Andaluza de Lucha Contra la Pobreza y la Exclusión Social (EAPN-A), 2024)

La implantación de sistemas fotovoltaicos en zonas rurales no solo promueve la transición energética, sino que también impulsa el desarrollo económico local mediante la generación de empleo, la atracción de inversión y la reducción de costes energéticos para pequeñas explotaciones. Estos beneficios son especialmente relevantes en regiones con alta irradiación solar y menor actividad industrial, como destaca el análisis estratégico del sector en España recogido por (Segura E et al, 2023)

	2017	2018	2019	2020	2021
Empleos directos	7.491	14.732	29.697	32.711	37.409
Empleos indirectos	10.064	20.125	39.847	43.864	50.063
Empleos industriales	6.025	12.058	23.895	26.293	29.991
TOTAL	23.580	46.915	93.439	102.868	117.463

Tabla 1. Impacto de la industria FV en la creación de empleo (Segura E et al, 2023)

Tal y como se indica en la Tabla 1, en tan solo cinco años se generaron 384.265 empleos en el sector fotovoltaico, con una tendencia ascendente con el paso de los años. Este dato evidencia que el modelo energético basado en energías renovables no solo aporta beneficios medioambientales al reducir significativamente las emisiones de CO₂, sino que también constituye una herramienta eficaz para hacer frente a los graves problemas de pobreza en zonas rurales. Además, contribuye activamente al desarrollo económico y social de estos territorios, fomentando su crecimiento y fijación de población.

1.2. Alcance de proyecto

Se contempla una zona representativa de alta densidad de almazaras, como la provincia de Jaén. El estudio abarca el análisis de la demanda energética, el dimensionamiento de la instalación fotovoltaica y el diseño del sistema de almacenamiento mediante baterías para garantizar un suministro continuo y eficiente. No se incluye la ejecución física del proyecto, pero sí una evaluación preliminar de su impacto ambiental, viabilidad económica y escalabilidad, con el objetivo de facilitar futuras implementaciones en el sector agrícola.

2. Objetivos generales y específicos

2.1. Objetivo general

En este proyecto se diseñará un sistema energético que combine una instalación solar fotovoltaica con un sistema de almacenamiento mediante baterías, con el objetivo de cubrir de forma sostenible las necesidades energéticas de una almazara. A través de este diseño, se pretende evaluar su viabilidad técnica, económica y medioambiental, demostrando su capacidad para garantizar un suministro eléctrico eficiente y reducir las emisiones asociadas al uso de fuentes no renovables. Asimismo, se busca establecer un modelo energético innovador, escalable y adaptable a otras regiones agrícolas y cultivos, contribuyendo así a la transición energética del sector agroindustrial.

2.2. Objetivos específicos

Los objetivos específicos de este proyecto se centran, en primer lugar, en analizar el perfil de consumo energético del sector olivarero andaluz, considerando tanto las necesidades de las explotaciones agrícolas como las de las almazaras. A partir de este análisis, se procederá al dimensionamiento de una instalación solar fotovoltaica capaz de cubrir de forma eficiente parte de la demanda eléctrica del sistema. Asimismo, se diseñará un sistema de almacenamiento mediante baterías que permita gestionar los excedentes de producción, garantizar el suministro energético en momentos de baja radiación y optimizar el autoconsumo. Finalmente, se evaluará la viabilidad técnica, económica y ambiental del sistema propuesto, con el objetivo de plantear una solución escalable y replicable en otras regiones agrícolas, fomentando así un modelo energético más sostenible en el medio rural.

3. Legislación aplicable

3.1. Legislación autonómica de Andalucía

- Real Decreto 1178/2023, de 27 de diciembre, se adapta y se modifica la normativa reguladora al marco europeo, determinados por programas de ayudas de rehabilitación energética y energías renovables del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia.
- Real Decreto 406/2023, de 29 de mayo, en el que se modifica el Real Decreto 263/2019, de 12 de abril, por el que se regula el Programa de ayudas para actuaciones de eficiencia energética en PYME y gran empresa del sector industrial.
- Real Decreto-ley 29/2021, de 21 de diciembre, fomentar la movilidad eléctrica, el autoconsumo y el despliegue de energías renovables (Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado, 2022)
- Consejo de gobierno, Acuerdo de 7 junio de 2022, donde se aprueba la estrategia energética de Andalucía 2030 (Junta de Andalucía, 2022)
- Fomentar energías renovables, de ahorro y eficiencia energética en Andalucía por la Ley 2/2007 del 27 de marzo,

3.2. Legislación Nacional

- Real Decreto 23/2020, en el que se modifican la Ley 24/2013, de 26 de diciembre y que en el sector eléctrico tienen la finalidad de impulsar la actividad económica, la competitividad, la descarbonización, y la neutralidad climática, y que incorpora disposiciones relativas al almacenamiento, agregadores independientes, hibridación, infraestructuras de recargas entre otros.
- Real Decreto 960/2020 menciona que las instalaciones de generación de energía eléctrica incluidas en el Real Decreto 413/2014, de 6 de junio podrán estar

constituidas por una o más tecnologías, además pueden tener un sistema de almacenamiento.

- Ley 24/2013, de 26 de diciembre, en el que se establece la regulación del sector eléctrico con el fin de garantizar el suministro de energía eléctrica y adaptarlo a las necesidades de los consumidores, como ser la eficiencia, calidad, seguridad y menor coste.
- Circular 3/2020, 15 de enero de la Comisión Nacional de los Mercados, indica que las baterías de almacenamiento de energía quedan exentas del pago de peaje si están conectadas a la red de distribución o transporte.
- Real Decreto ley 6/2022 de 29 de marzo establece la regulación de los procedimientos para la autorización de instalaciones con almacenamiento.
- Deberán de someterse a evaluación ambiental las instalaciones con almacenamiento energético stand-alone según el Real Decreto 445/2023 de 13 de junio.

3.3. Legislación Europea

- El Reglamento (UE) 2023/1542, es la normativa principal que regula las baterías en la UE, incluyendo las usadas en sistemas de almacenamiento para plantas solares fotovoltaicas. Este reglamento abarca todo el ciclo de vida de las baterías (producción, uso, reciclaje y segunda vida) y establece requisitos estrictos de sostenibilidad, seguridad y rendimiento.
- Directivas de Mercado Eléctrico - (UE) 2019/944 y Reglamento (UE) 2019/943. Establecen que los consumidores deben poder consumir, almacenar o vender la electricidad autogenerada.
- El plan REPowerEU, tiene como objetivo ahorrar energía, producir energía limpia y diversificar el suministro energético.
- Directiva (UE) 2018/2001, refuerza la capacidad de almacenamiento y respaldo, transferencia de la energía y reforzamiento de las redes para el despliegue de las capacidades de la electricidad renovable.
- Reglamento (UE) 2017/1369 contribuye al desarrollo de productos inteligentes, con el fin de mejorar la eficiencia energética, adaptación a las energías renovables y reducción del consumo energético.

4. Contexto tecnológico y energético

4.1. Panorama energético del sector agrícola en Andalucía

La comunidad de Andalucía es una región fuerte en el sector agrario y una de las principales a nivel europeo destacando en cultivos como el olivar, viñedos, entre otros. Este sector tiene un alto consumo de energía principalmente en maquinaria, riego, procesos de transformación y transporte. Para el 2023 Andalucía registra un consumo de energía final de 12.095ktep, ocupando el sector transporte un 43% de este valor,

seguido por la industria con un 25% y el resto para los sectores residencial, servicios y primario.

En el informe de Datos energéticos de Andalucía 2023 (Agencia Andaluza de Energía, 2023), podemos encontrar que el sector primario representado por agricultura, ganadería, pesca, minería y explotación forestal ha tenido una reducción de un 7,5% (69,3 ktep) y se cifra en 856,2 ktep lo que representa un 7,1% del consumo final andaluz.

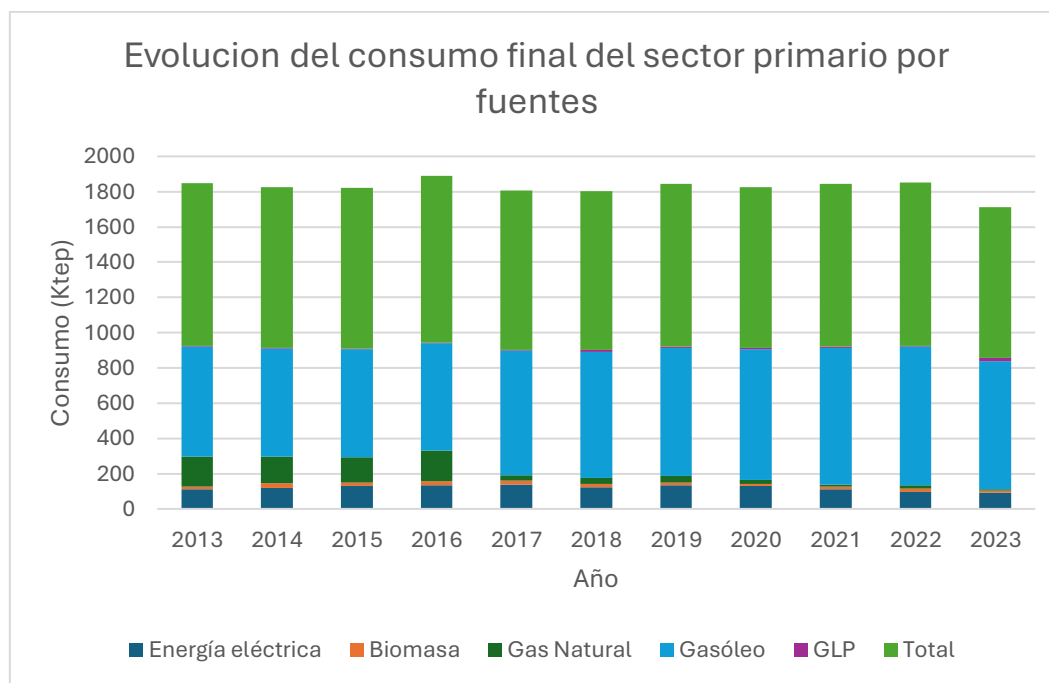


Ilustración 1. Evolución del consumo final del sector primario por fuentes. (Agencia Andaluza de Energía, 2023).

De la Ilustración 1 tenemos que para el año 2023 el gasóleo representa el 85% del total de las fuentes de energía, seguido de la energía eléctrica con un 10,6%, el GLP con 2,2%, la biomasa con 1,6% y el gas natural con un 0,6%. En el caso de las almazaras, el perfil energético es diferente, ya que la mayor parte de los procesos industriales (molturación, batido, centrifugado, bombeo) funcionan con electricidad de red, cuyo impacto depende del mix de generación eléctrica. Además, muchas instalaciones aprovechan la biomasa procedente de subproductos como el orujo y el hueso de aceituna para la generación de calor necesario en operaciones auxiliares. El uso de gasóleo o GLP queda limitado a casos puntuales o sistemas de respaldo, por lo que su peso en el consumo energético de las almazaras es reducido frente a la electricidad y la biomasa.

4.2. Tecnología de generación solar fotovoltaica

La tecnología de generación solar fotovoltaica se basa en la conversión directa de la radiación solar en energía eléctrica mediante el uso de materiales semiconductores que presentan el efecto fotovoltaico. Esta tecnología ha experimentado un crecimiento exponencial en los últimos años, impulsada por la necesidad de fortalecer la seguridad energética de los países, el aumento de los precios de los combustibles fósiles y la creciente preocupación por el cambio climático. Las políticas de apoyo, junto con la notable reducción de los costos de instalación y operación, han consolidado su

competitividad frente a tecnologías convencionales, haciendo de la energía solar una alternativa económicamente viable y ambientalmente sostenible.

En este caso, se emplea un módulo monocristalino, compuesto por un único cristal de silicio de alta pureza que ofrece una red cristalina prácticamente sin defectos. Gracias a su estructura uniforme, alcanza eficiencias superiores al 20 %, siendo la tecnología con mayor rendimiento en el mercado. A pesar de que su proceso de fabricación es más costoso, lo que incrementa su precio, ofrece ventajas significativas en durabilidad, resistencia mecánica y vida útil, siendo especialmente útil en condiciones ambientales adversas.

El desarrollo tecnológico y la creciente competencia en el sector energético han sido factores determinantes para optimizar la fabricación y el diseño de los módulos fotovoltaicos. Estos avances han permitido no solo mejorar el rendimiento en la generación eléctrica, sino también reducir significativamente los costes de instalación, lo que ha contribuido a una mayor viabilidad económica de esta fuente renovable.

Actualmente, el precio medio de estos se sitúa en torno a los 0,2 €/Wp (International Energy Agency, 2020), lo cual ha favorecido una continua expansión de la capacidad instalada a escala global. La Ilustración 2 refleja esta evolución, basándose en datos recopilados por la Agencia Internacional de la Energía, con la conversión de precios de dólares a euros utilizando un tipo de cambio promedio de 1,11 \$/€ correspondiente al año 2015 (“Evolución de la media anual del tipo de cambio del euro al dólar estadounidense de 1999 a 2022.”).

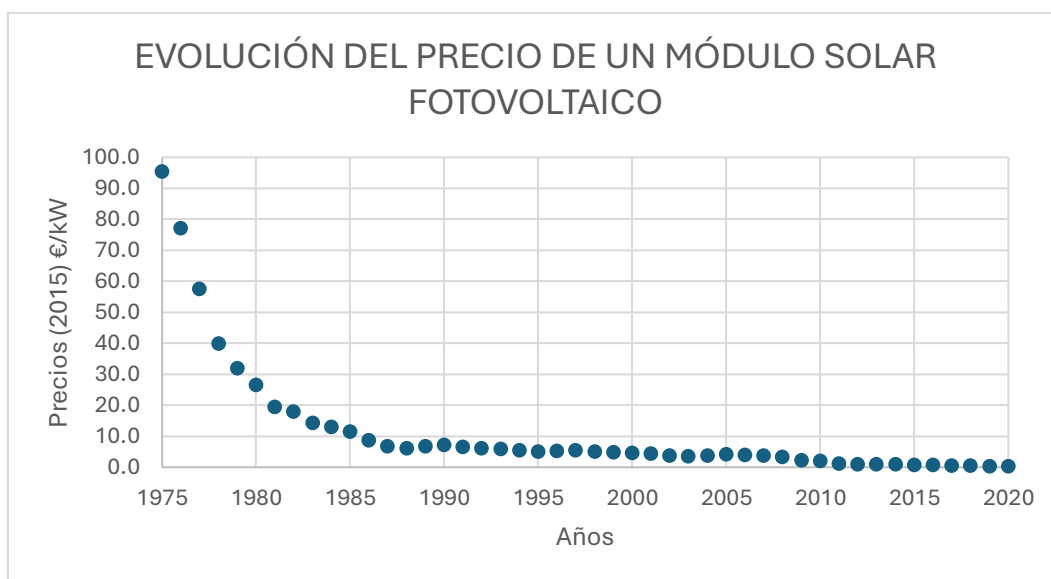


Ilustración 2. Evolución del precio del módulo fotovoltaico (1975-2020) (International Energy Agency, 2020)

Es importante destacar que, en sus primeras aplicaciones, los paneles fotovoltaicos estaban orientados al uso espacial, donde se requerían altos niveles de eficiencia y fiabilidad. Estas exigencias implicaban diseños muy precisos y rigurosos, lo que encarecía considerablemente su coste. Sin embargo, con la progresiva adaptación de esta tecnología al ámbito terrestre, la demanda comenzó a incrementarse, lo que impulsó el desarrollo de nuevos métodos de producción y el uso de materiales más rentables, tanto desde el punto de vista económico como técnico. Como resultado, la industria logró importantes avances en la reducción del precio de los módulos solares.

En cuanto a la generación eléctrica proveniente de energía fotovoltaica, esta ha mantenido una tendencia de crecimiento exponencial hasta la actualidad, como se observa en la Ilustración 2. Este aumento puede atribuirse a varios factores: disponibilidad abundante del recurso solar, contribución a la independencia energética, beneficios ambientales, y la continua evolución tecnológica. A ello se suman la disminución de los costes de instalación y las bajas emisiones de gases de efecto invernadero, que refuerzan aún más su atractivo.

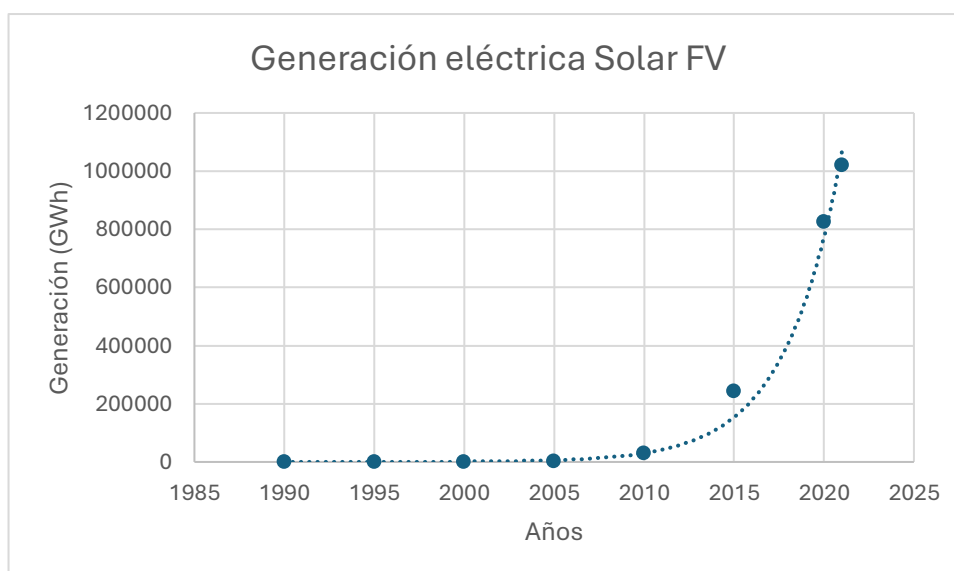


Ilustración 3. Evolución de generación de electricidad solar fotovoltaica (International Energy Agency, 2021), (REE, 2025)

La capacidad fotovoltaica instalada a nivel global ha crecido de manera significativa gracias al respaldo de políticas públicas, la mejora continua de las tecnologías y una mayor concienciación respecto a sus beneficios ambientales, como se muestra en la Ilustración 4. En el año 2022, la capacidad solar acumulada en el mundo superó por primera vez el umbral del teravatio, alcanzando aproximadamente 1.185 GW (B. I. (BE). F. the non-I. P. countries: I. K. (RTS C. A. J.-W. (EU-J. J. D. (UNEF). IEA PVPS Reporting Countries, E. B. A. V. R. M. de l'Épine (Becquerel I. Gaëtan Masson, and I. P. T. I Manager. Gaëtan Masson", 2023). Esta expansión ha permitido que la energía fotovoltaica desempeñe un papel clave en la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por la producción eléctrica. De hecho, solo durante ese año, la energía solar fue responsable de más del 50% de la nueva generación renovable, evitando la emisión de unas 1.399 millones de toneladas de CO₂. Esto equivale al 10% de las emisiones globales del sector de electricidad y calor, y aproximadamente al 4% del total de emisiones relacionadas con el sector energético [5]. Por todo ello, la energía solar fotovoltaica se consolida como una de las principales soluciones frente al reto del cambio climático.

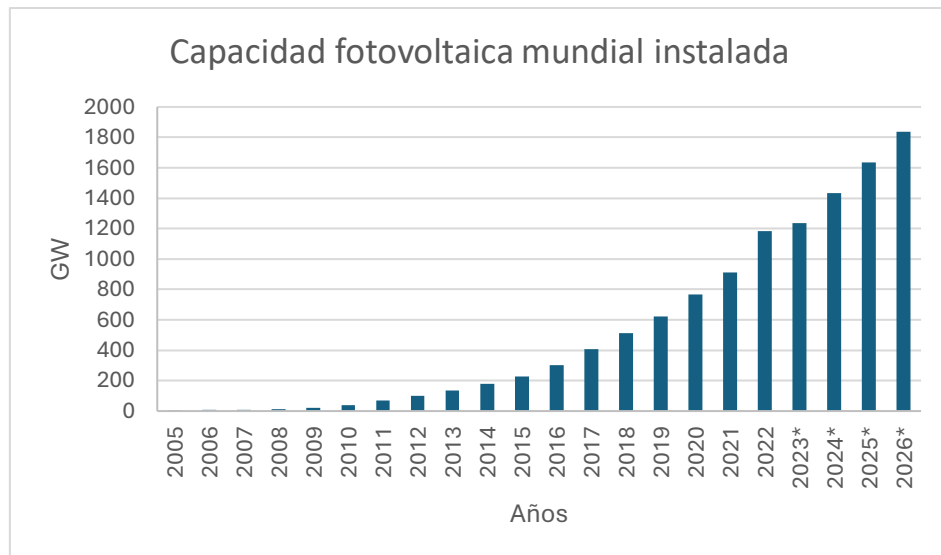


Ilustración 4. Evolución global de las instalaciones acumuladas de energía fotovoltaica, Con asterisco la previsión para los próximos años (B. I. (BE). F. the non-I. P. countries: I. K. (RTS C. A. J.-W. (EU-J. J. D. (UNEF). IEA PVPS Reporting Countries, E. B. A. V. R. M. de l'Epine (Becquerel I. Gaëtan Masson, and I. P. T. 1 Manager. Gaëtan Masson", 2023)

4.3. Tecnología de almacenamiento energético con baterías

Las baterías son una tecnología relevante que tiene capacidad para almacenar energía eléctrica proveniente de fuentes renovables, siendo un componente estratégico para garantizar el uso de esta cuando se necesite.

Además, el almacenamiento mediante baterías ofrece una solución práctica y escalable para la autonomía energética en sectores rurales o agrícolas, ayudando a mejorar la gestión de los recursos energéticos locales y reforzando la seguridad energética mediante un suministro flexible y descentralizado.



Ilustración 5. Inversión mundial en redes y almacenamiento. (IEA, 2025)

En la Ilustración 5 observamos la evolución de la inversión mundial para redes y sistemas de almacenamiento desde el año 2015 al 2025. En el 2015 hubo una inversión de 332 billones de dólares y para el año 2025 se espera que sean 479 billones de dólares, de los cuales se espera una inversión de 66 mil millones de dólares para almacenamiento con baterías (IEA, 2025). El incremento de los sistemas de almacenamiento en los últimos cinco años es gracias al rápido crecimiento en la transición energética, provocado deseo de recuperación postpandemia y el recorte de gas por parte de Rusia.

Según el Battery Report 2024 de la Fundación Volta, para el año 2024 los sistemas de almacenamiento en baterías representan el 15% frente a un 7% para el 2020. Las nuevas instalaciones de sistemas de almacenamiento en baterías “BESS” en el 2024 contribuyen con más del 45% de la capacidad global acumulada de 150GW/363GWh, siendo BESS uno de los sectores más prometedores y de rápido crecimiento (VF Volta Foundation, 2025).

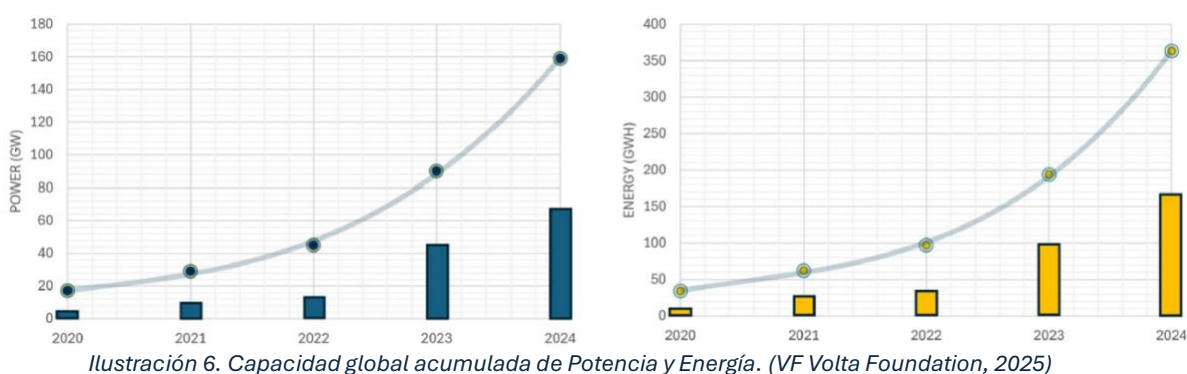


Ilustración 6. Capacidad global acumulada de Potencia y Energía. (VF Volta Foundation, 2025)

4.3.1. Sistema de almacenamiento mediante baterías

Los sistemas de almacenamiento de energía en baterías contribuyen a estabilizar las redes eléctricas, integrar energías renovables y tener una fuente de respaldo confiable. En el 2024 la capacidad global de fabricación de baterías pasó de 1,05 TWh a 1,45 TWh en un solo año, lo que provocó que los paquetes de baterías tengan un coste de 115 \$/kWh. Debido al incremento de cadenas de suministro, las celdas LFP fabricadas en China alcanzaron un precio de 50 \$/kWh. Cabe destacar que China sigue dominando el sector, teniendo el 80% de las cadenas de suministro de los componentes.

Para el año 2024 tuvimos una implementación de 69GW en sistemas de almacenamiento en baterías. Estas nuevas incorporaciones son dominadas por cuatro países y regiones a nivel mundial, ocupando el primer lugar China con 36GW, Estados Unidos con 13GW, Europa con 10GW y Australia con 2 GW.

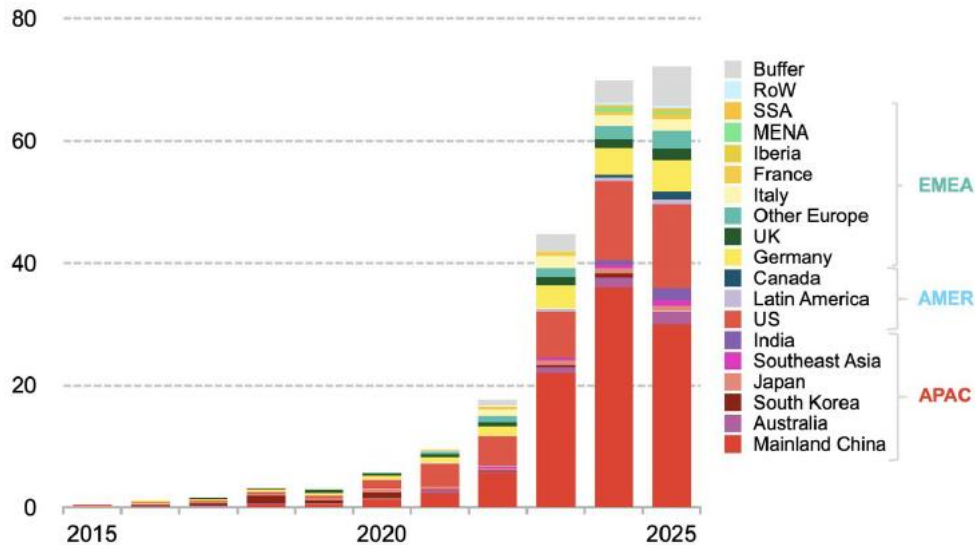


Ilustración 7. Sistemas de almacenamiento en baterías a nivel de país/región. (VF Volta Foundation, 2025)

Componentes principales de un BESS:

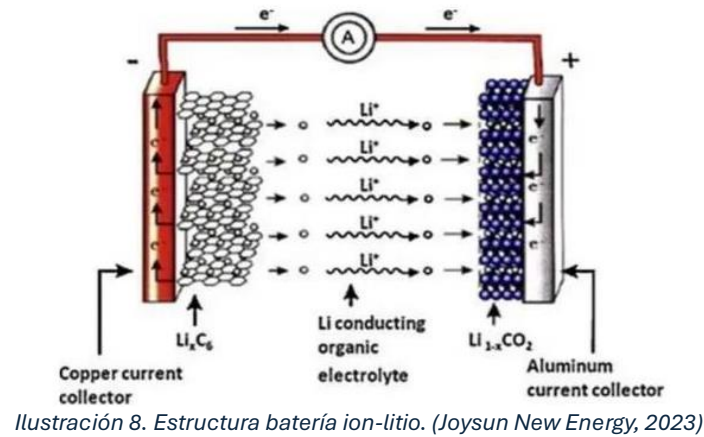
- **Baterías**
Son los equipos que están compuestos por celdas que se encargan de transformar la electricidad en energía química y viceversa, logrando almacenarla para utilizarla cuando sea necesaria.
- **Sistema de gestión de batería**
Este se encarga de garantizar el buen funcionamiento, de monitorizar el voltaje, el estado de carga y descarga, y su eficiencia.
- **Sistema de conversión de energía**
Este convierte la corriente continua CC que esta almacenada en las baterías a corriente alterna para darle un uso final.
- **Gabinete**
Se encarga de contener el módulo de batería y a su vez dar protección al mismo.
- **Sistema de gestión de energía**
Este monitorea y gestiona el funcionamiento y el rendimiento del sistema de almacenamiento.

4.3.2. Batería de Ion-Litio

Las baterías ion- litio, también conocida como Li-Ion son una tecnología clave en el almacenamiento de energía, tienen un alto rendimiento, una alta densidad energética y son resistentes a altas temperaturas.

Estas baterías están compuestas por un cátodo de óxido metálico y cuando este se descarga se liberan los iones de litio y un ánodo de grafito que en el proceso de carga almacena los iones de litio.

Estas baterías se diseñaron para que el proceso de carga y descarga se realice en miles de ocasiones.



Como desventaja tenemos:

- Deterioro progresivo de la batería debido al envejecimiento natural, incluso si permanece sin uso.
- Contacto con sustancias contaminantes que pueden causar fallos o cortocircuitos en el sistema.
- Exposición a temperaturas extremas, ya sea frío o calor excesivo, que afectan el rendimiento de la batería.
- Degradación química causada por subproductos generados en las reacciones internas, que dañan los materiales del ánodo y el cátodo.

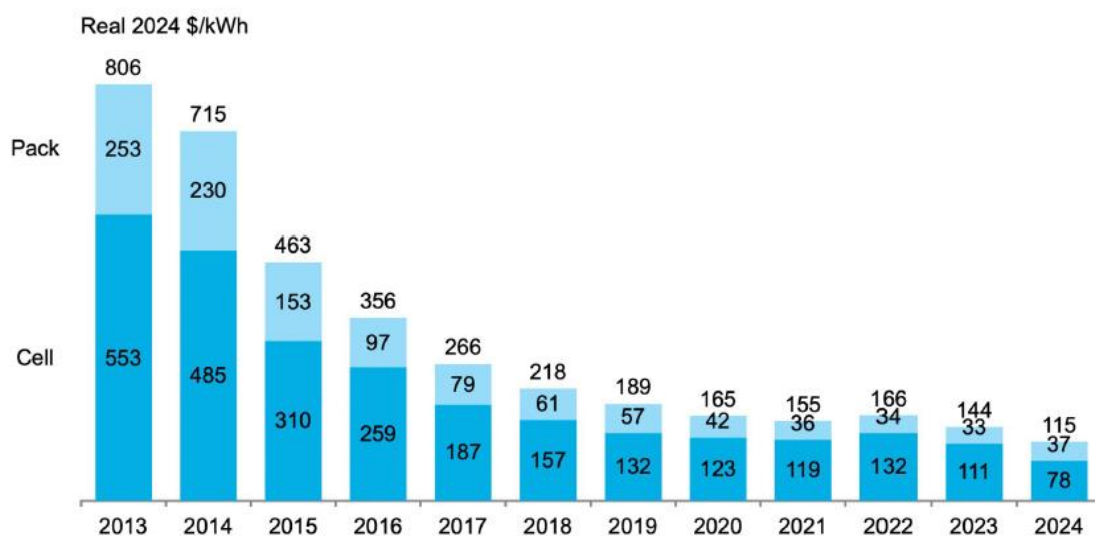


Ilustración 9. Precio de paquete de baterías y células 2013-2024. (VF Volta Foundation, 2025)

En la ilustración 9 anterior se observa que el precio de los paquetes de baterías ion-litio para el 2023 era de 144 \$/kWh y en el 2024 de 115 \$/kWh, lo que representa una baja del 20% en un año.

Uno de los principales proveedores de los materiales necesarios para la fabricación de estas baterías es China, aunque en el caso del cátodo hay más variedad de proveedores de otros países.

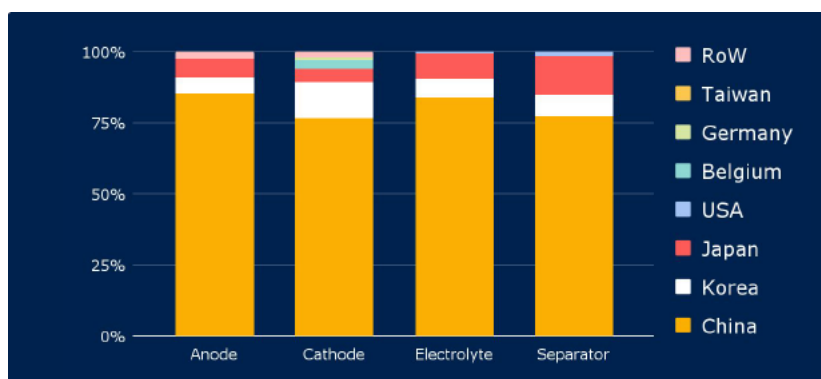


Ilustración 10. Proveedores de materiales a nivel mundial. (VF Volta Foundation, 2025)

4.3.3. Aplicaciones del almacenamiento con baterías en energías renovables

Los sistemas de almacenamiento en baterías ofrecen diversas aplicaciones en el ámbito de las energías renovables, siendo especialmente útiles en alazaras donde el consumo energético es elevado y estacional, esta tecnología puede integrarse para impulsar la sostenibilidad y la eficiencia. A continuación, se presentan sus principales usos:

➤ Control de picos de consumo

Los sistemas de almacenamiento permiten acumular energía en momentos de tarifas eléctricas bajas, como durante las horas de mayor producción solar, y utilizarla en períodos de alta demanda. Esto evita costos adicionales por exceso de potencia contratada, algo especialmente relevante en alazaras durante procesos de alta producción.

➤ Suministro de emergencia durante cortes de luz

En áreas rurales suelen haber cortes de energía de manera más frecuente que en las grandes ciudades, por lo que, los sistemas de baterías ofrecen una solución inmediata, proporcionando energía en milisegundos para mantener en marcha procesos esenciales y evitar pérdidas económicas.

- Disminución de la huella de carbono

Al combinar baterías con paneles solares, las almazaras pueden reducir drásticamente sus emisiones de gases de efecto invernadero, eliminando de forma parcial o definitiva la dependencia de generadores diésel o de la red eléctrica basada en combustibles fósiles.

- Autonomía parcial o total respecto a la red

Aunque lograr una desconexión completa de la red implica una inversión considerable, los sistemas de almacenamiento permitirán a las almazaras operar de manera independiente durante períodos críticos.

- Soporte a procesos agrícolas.

Estos sistemas permiten apoyar al sector agrícola en procesos específicos como el bombeo de agua para riego, cosecha mecanizada, la climatización de invernaderos o la refrigeración de productos agrícolas. Por lo que, implementar baterías de ion- litio en el sector agrícola contribuirá a reducir las facturas energéticas.

Además, alguno de los residuos agrícolas, pueden integrarse en sistemas de biomasa para generar energía adicional, optimizando recursos.

5. Análisis del sector olivarero

5.1. Localización y caracterización de la zona de estudio

El presente Trabajo de Fin de Máster se centra en el estudio del sector olivarero andaluz, y más concretamente en la provincia de Jaén, una región que constituye el principal enclave mundial en la producción de aceite de oliva. En particular, el estudio se desarrollará en el municipio de Baeza (Jaén), una localidad con una marcada tradición olivarera y una densa red de almazaras cooperativas y privadas.

Baeza presenta una extensión olivarera considerable, siendo una de las zonas clave en la producción jiennense de aceite de oliva virgen extra. Su economía es eminentemente agraria, con una fuerte dependencia del monocultivo del olivo. Las explotaciones olivareras predominantes son de carácter familiar, de pequeña y mediana extensión, siendo habitual la existencia de almazaras cooperativas, donde se realiza el proceso de transformación del fruto en aceite.

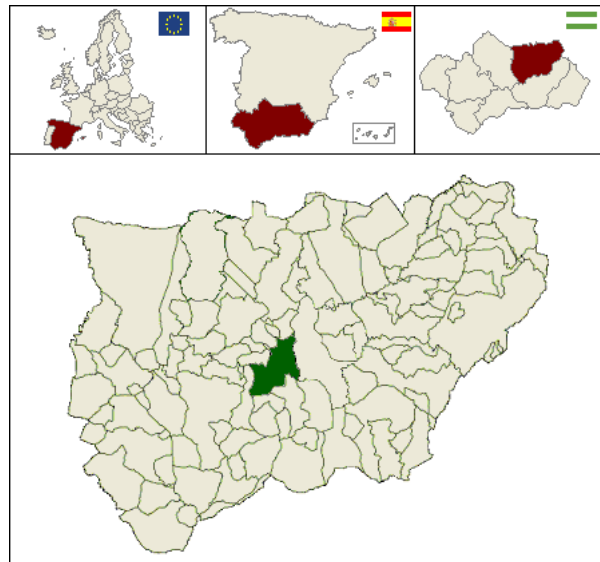


Ilustración 11. Localización de Baeza (Jaén)

5.1.1. Ubicación del emplazamiento seleccionado

La instalación fotovoltaica propuesta se ubicará en las inmediaciones de una almazara situada al suroeste del núcleo urbano de Baeza. La ubicación precisa de la instalación, según el enlace facilitado mediante *Maps*, corresponde a las siguientes coordenadas geográficas:

- Coordenadas UTM (Zona 30S):
X: 466.780 m
Y: 4.211.130 m
- Coordenadas geográficas (WGS 84):
Latitud: 37.981243° N
Longitud: -3.519497° O

Esta localización se encuentra en una zona de uso agrícola intensivo, vinculada principalmente al cultivo del olivo y próxima a infraestructuras básicas como caminos rurales y líneas de baja tensión, lo que facilita la logística de instalación y operación del sistema energético.



Ilustración 12. Vista satelital del emplazamiento seleccionado

5.1.2. Caracterización geográfica y geológica

Baeza forma parte de la comarca de La Loma, una de las zonas agrícolas más representativas de Jaén. El paisaje está dominado por una extensa superficie de olivar tradicional, intercalado con pequeñas parcelas de olivar intensivo y algunos cultivos herbáceos de secano.

La altitud media de la zona oscila entre 700 y 800 metros sobre el nivel del mar, con una topografía ligeramente ondulada, lo que permite una buena exposición solar y facilita la instalación de estructuras fotovoltaicas. La propiedad agrícola es mayoritariamente privada, con explotaciones familiares de pequeña y mediana extensión, y una fuerte presencia de almazaras cooperativas, donde se concentra la transformación del fruto.



Ilustración 13. Mapa topográfico. Visor Rediam.

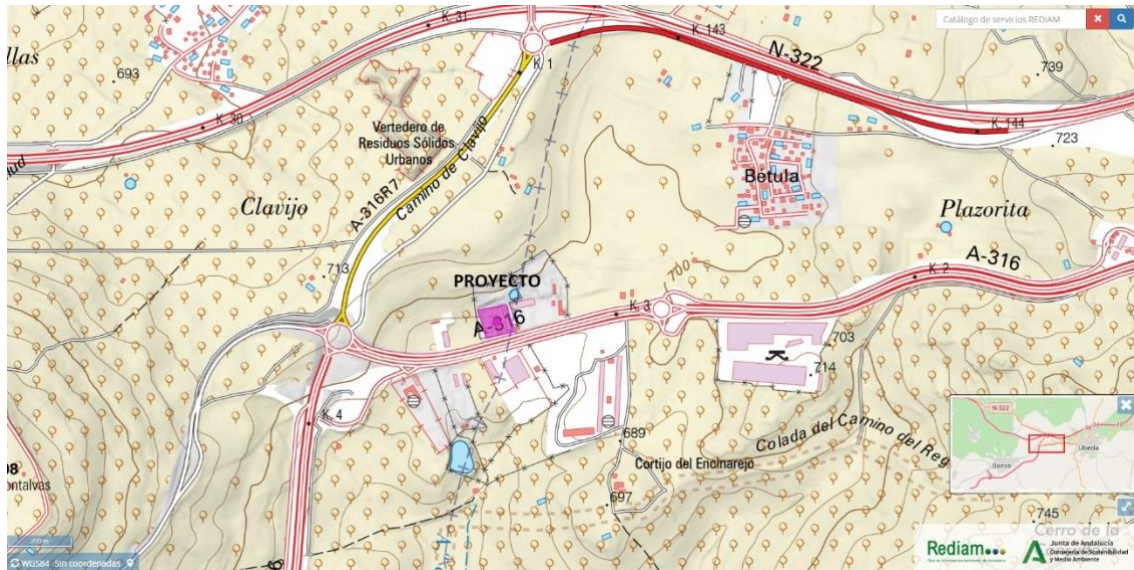


Ilustración 14. Mapa cartográfico. Visor Rediam.

5.1.3. Condiciones climáticas

La zona de estudio se encuentra bajo un clima mediterráneo continentalizado, caracterizado por; Veranos secos y calurosos, con temperaturas que pueden superar los 35 °C. El invierno es suave con temperaturas medias entre 6 y 12 °C. Presenta Baja pluviometría, concentrada en los meses de otoño e invierno (media anual: 500–600 mm). Pero sobre todo lo más importante es que cuenta con una alta irradiación solar, superior a 1.855,5 kWh/m² al año, lo que convierte a la región en un lugar idóneo para la generación de energía fotovoltaica.

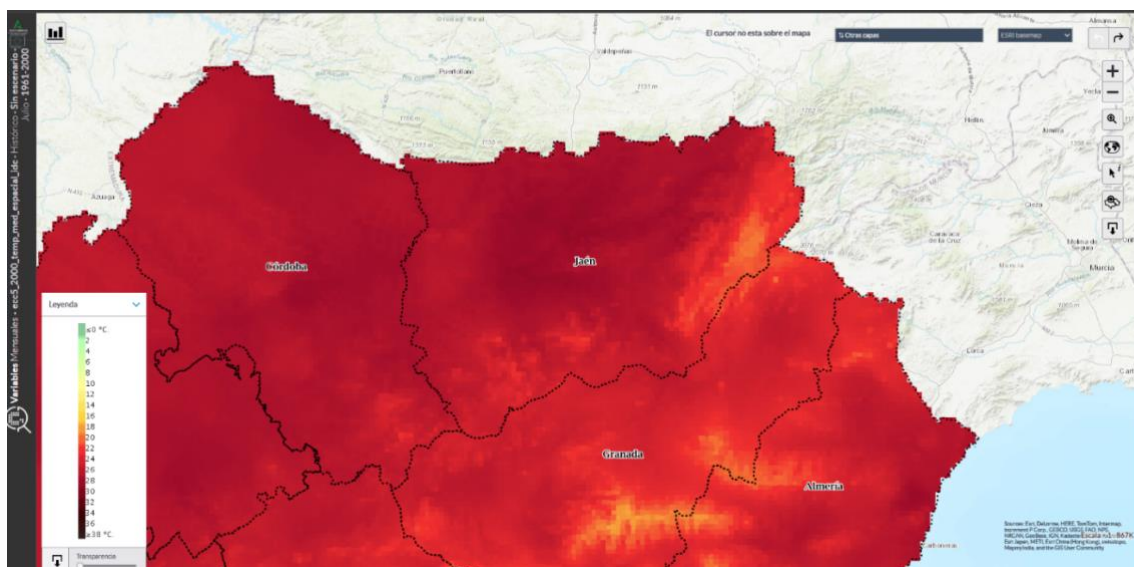


Ilustración 15. Temperatura media mes de julio de 1961-2000.

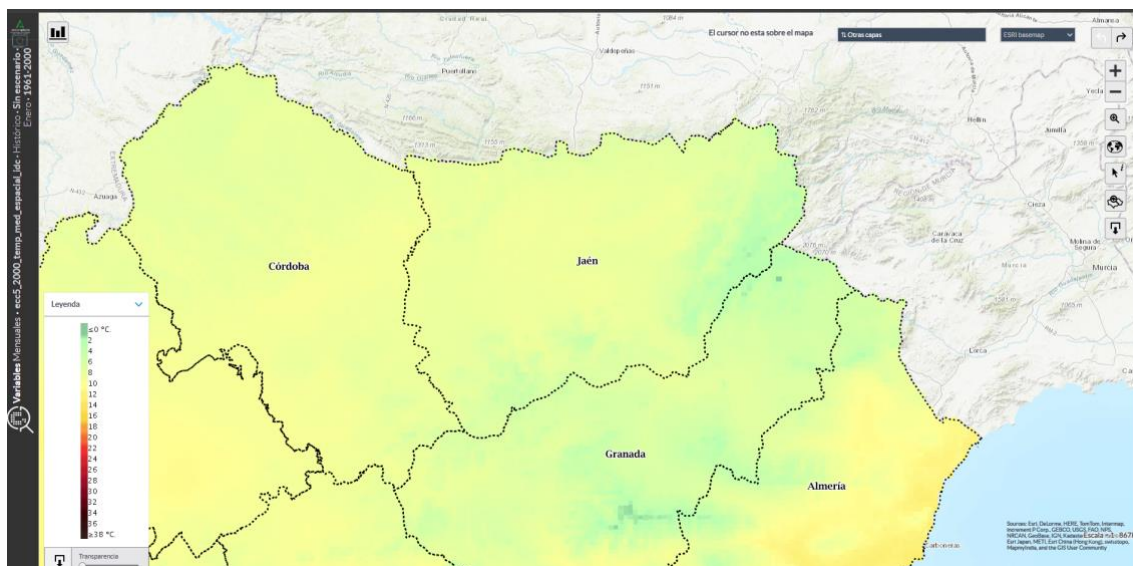


Ilustración 16. Temperatura media mes de enero de 1961-2000.

Estas condiciones convierten a Baeza en un entorno idóneo para proyectos de autoconsumo fotovoltaico con almacenamiento, tanto por su elevado potencial solar como por la continuidad en la generación a lo largo del año.

Por tanto, las condiciones climáticas de Baeza favorecen tanto la eficiencia de producción solar como la conservación de las baterías, al presentar una oscilación térmica moderada y una baja humedad relativa.

5.1.4. Importancia estratégica del sector olivarero

La economía local está fuertemente ligada al monocultivo del olivo, que constituye no solo la principal actividad económica, sino también un elemento cultural e identitario. Jaén produce aproximadamente el 40 % del aceite de oliva de España y cerca del 20 % a nivel mundial, siendo Baeza uno de sus municipios más productivos.

La transformación del fruto en aceite se lleva a cabo mayoritariamente en almazaras cooperativas, que también representan un punto estratégico para implementar soluciones energéticas sostenibles, dada su elevada demanda eléctrica estacional durante la campaña de molturación.

5.2. Selección del emplazamiento

La selección del emplazamiento es un factor clave en la viabilidad técnica y económica de un sistema energético basado en energía solar fotovoltaica con almacenamiento en baterías. A partir del análisis de datos de simulación energética anual, se obtienen los siguientes parámetros. Por ello, se han considerado los siguientes criterios a la hora de analizar la idoneidad de la ubicación seleccionada para la instalación en una almazara situada en la provincia de Jaén:

- Radiación global horizontal (Glob Hor): La media anual asciende a 1.855,5 kWh/m², con máximos en los meses de junio, julio y mayo, donde se superan los 220 kWh/m² mensuales.

MESES	Glob Hor	Tª amb	E Grid
Enero	100,2	4,7	44,29
Febrero	73,1	7,49	31,88
Marzo	108,5	9,24	46,13
Abril	168,3	13,61	68,22
Mayo	229,5	19,14	88,57
Junio	222,1	21,15	84,92
Julio	257,6	26,65	96,21
Agosto	221,6	26,85	84,09
Septiembre	169,7	22,21	67,77
Octubre	133,3	17,88	55,88
Noviembre	92,3	9,13	40,64
Diciembre	79,4	5,95	35,21
TOTAL	1855,5	15,38	743,8

Tabla 2. Dato de Baeza - Fuente: PVGIS TMY 5.2



Ilustración 17. Radiación Global Horizontal

- Temperatura ambiente media anual (Tª Amb): Es de 15,38 °C, lo cual resulta adecuado para el rendimiento de los módulos, al no incurrir en penalizaciones térmicas excesivas.

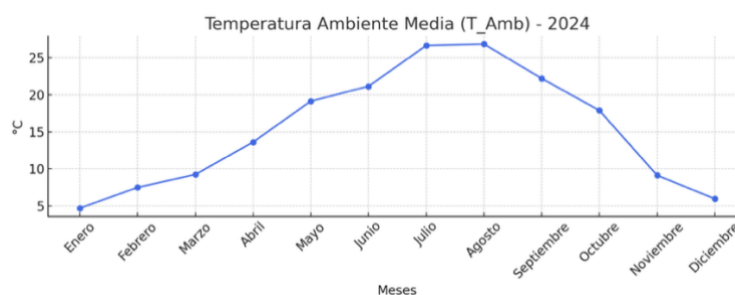


Ilustración 18. Temperatura Ambiente Media

- **Energía Inyectada a red (E_Grid):** Registra un valor anual de 743,80 MWh reflejando una alta generación eléctrica.

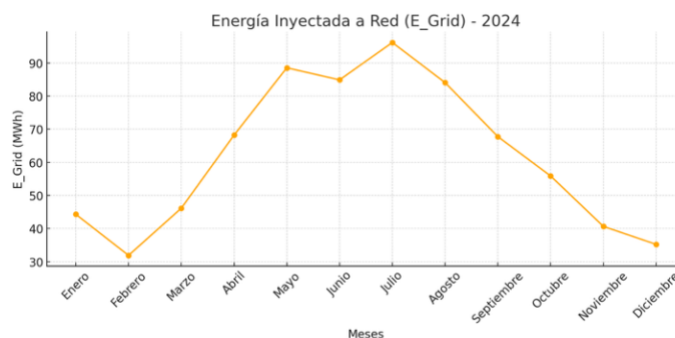


Ilustración 19. Energía inyectada a red

➤ **Proximidad al punto de consumo energético (almazara):**

La instalación se ubica dentro del propio centro de consumo, lo cual minimiza las pérdidas por transporte eléctrico y reduce costes en infraestructura de conexión. Esta cercanía permite una gestión más eficiente del autoconsumo y del almacenamiento energético.

➤ **Accesibilidad y comunicaciones por carretera:**

Se ha valorado la accesibilidad al emplazamiento para facilitar tanto el transporte de materiales durante la instalación como el acceso para tareas de operación y mantenimiento. Una buena conexión por carretera también favorece futuras ampliaciones o intervenciones técnicas.

➤ **Espacio disponible para la instalación:**

Es fundamental contar con superficie suficiente, libre de sombras, para la instalación de los paneles solares y del sistema de almacenamiento. La disponibilidad de espacio permite una adecuada orientación e inclinación de los módulos, así como futuras expansiones.

5.3. Perfil energético del olivar y las almazaras

5.3.1. Consumo eléctrico

El consumo eléctrico en una almazara está estrechamente vinculado al volumen de aceituna procesada y a la tecnología utilizada. En el caso concreto de la almazara objeto de este estudio, ubicada en Baeza, se estima un consumo eléctrico anual de 1.250.000 kWh/año, lo que corresponde a una instalación de tamaño grande con un elevado grado de mecanización (Tesla Transferring Energy Save Laid on Agroindustry, 2014)

La distribución del consumo por procesos es la siguiente (Romera R. Universidad de Jaén., 2018).

Proceso	% Consumo	kWh/año	Descripción técnica del consumo
Recepción, limpieza, lavado	7%	≈ 87.500	Se utilizan cintas transportadoras, vibradores, sopladores y lavadoras de aceituna. Energía usada para motores eléctricos de transporte y agua a presión.
Molienda	25%	≈ 312.500	El molino de martillos tritura la aceituna. Este proceso es intensivo en energía debido a la necesidad de romper los tejidos celulares.
Batido	8%	≈ 100.000	Se realiza a temperatura controlada, con batidoras horizontales. Energía usada para mezclar lentamente la pasta y facilitar la separación de fases.
Separación de fases	27%	≈ 337.500	El decanter centrífugo (horizontal) separa aceite, alperujo y agua. Altamente demandante de electricidad por la fuerza centrífuga constante.
Centrifugación vertical	8%	≈ 100.000	Pulido del aceite mediante centrifugadoras verticales para eliminar partículas finas y humedad residual.
Almacenamiento	3%	≈ 37.500	Depósitos de acero inoxidable con control de temperatura (climatización), bombas de trasiego.
Deshuesado	13%	≈ 162.500	Algunas almazaras retiran el hueso antes del batido para optimizar la extracción o aprovechar el hueso como biomasa. Consumo por trituradoras específicas.
Otros auxiliares	9%	≈ 112.500	Iluminación, oficinas, climatización de salas, automatización, laboratorio, etc.
Total	100%	≈ 1.250.000	

Tabla 3. Procesos y consumos de una almazara

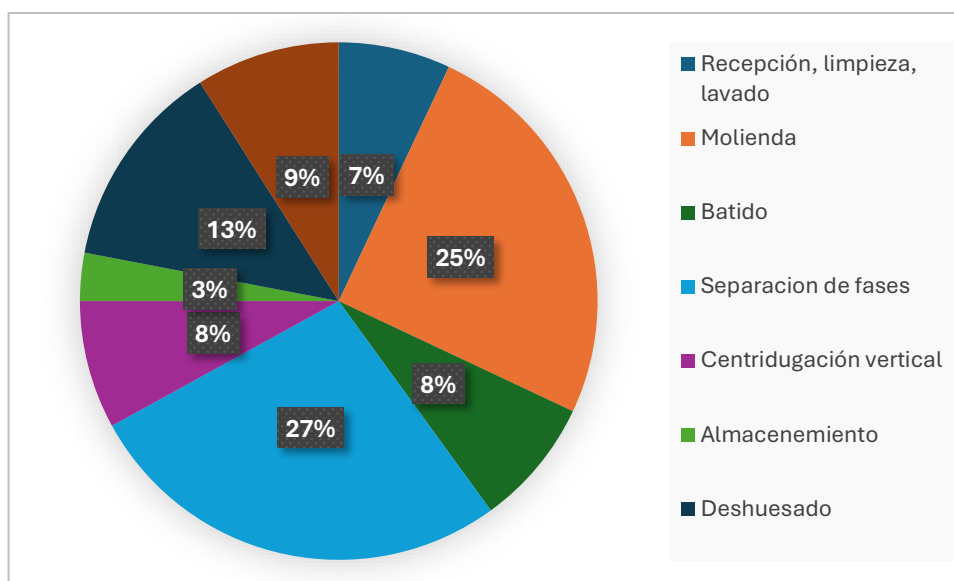


Ilustración 20. Porcentaje del consumo eléctrico por fases

6. Diseño del sistema fotovoltaico con almacenamiento en baterías

6.1. Generación solar fotovoltaica

6.1.1. Dimensionamiento de instalación FV y componentes

Para la implantación propuesta, se contempla la instalación de un total de 865 módulos fotovoltaicos de 550 W de potencia unitaria, lo que supone una capacidad pico total de 476 kWp. Estos módulos estarán distribuidos sobre la cubierta de la almazara mediante una estructura coplanar, lo que permite minimizar el impacto visual y aumentar la resistencia frente a cargas de viento. Las cubiertas seleccionadas presentan diferentes orientaciones, siendo utilizadas las orientaciones este, oeste y sur, con el objetivo de maximizar la captación solar a lo largo del día.

La energía generada en corriente continua por los módulos será transformada mediante cuatro inversores de 100 kW cada uno, alcanzando una potencia nominal total de 400 kWn. Esta energía será destinada a cubrir los consumos eléctricos de la almazara, y en caso de producirse excedentes, estos serán gestionados mediante un sistema de almacenamiento con baterías, optimizando así el aprovechamiento energético de la instalación. Las baterías serán ubicadas en el exterior de la construcción, concretamente en la cara norte de esta, quedando protegida de la radiación directa para así alargar su vida útil.



Ilustración 21. Implantación FV con mapa de rendimientos de los módulos

A continuación, se procederá a definir y describir los principales componentes que conforman la instalación fotovoltaica con sistema de almacenamiento, detallando las características técnicas y funcionales de cada uno de ellos.

1. Paneles fotovoltaicos.

El sistema fotovoltaico está compuesto por módulos JA Solar JAM72S30 550 MR, de tecnología monocristalina PERC y media celda. Cada módulo ofrece una potencia pico de 550 Wp, lo que permite una alta eficiencia energética y una mayor tolerancia a sombras parciales gracias a su diseño de célula partida. Estos módulos están diseñados para aplicaciones en sistemas conectados a red y se caracterizan por su alta eficiencia de conversión (hasta el 21,1 %), baja degradación anual y excelente rendimiento en condiciones de baja irradiancia.

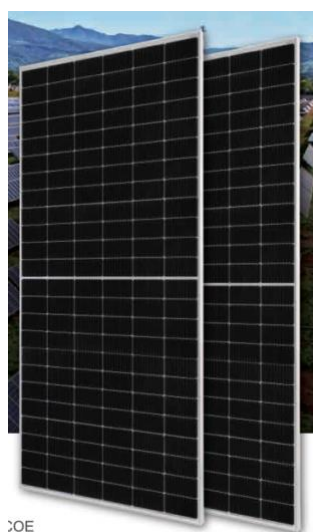


Ilustración 22. Módulo fotovoltaico - JA Solar JAM72S30 540 MR

2. Estructuras de montaje.

La estructura utilizada para el montaje de los módulos fotovoltaicos es del tipo coplanar continua modelo 03V de la marca Sunfer. La estructura está fabricada en aluminio EN AW 6005A T6, con tornillería de acero inoxidable A2-70, lo que garantiza una elevada resistencia a la corrosión y una larga vida útil.

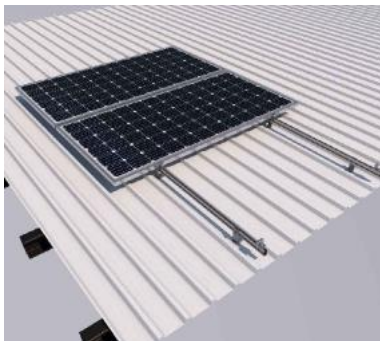


Ilustración 23. Estructura coplanar - Sunfer

3. Inversores.

El inversor utilizado es Huawei SUN2000-100KTL-M2, con una potencia nominal unitaria de 100 kW. Este inversor destaca por su alta eficiencia, alcanzando un rendimiento máximo del 98,8 %, lo que garantiza una conversión energética óptima de la energía generada por los módulos fotovoltaicos.

Cada equipo dispone de 10 seguidores MPPT independientes, lo que permite maximizar la captación energética incluso ante diferentes orientaciones o condiciones de sombreado.



Ilustración 24. Inversor - Huawei SUN2000-100KTL-M2

4. Cableado y protecciones.

Para la conexión entre los módulos fotovoltaicos y los inversores se emplean conductores Topsolar PV HIZZZ2-K, especialmente diseñados para aplicaciones solares. Se trata de cables de cobre electrolítico estañado, clase 5 (flexible), con aislamiento y cubierta de goma libre de halógenos, lo que les confiere una alta resistencia mecánica, térmica y frente a la intemperie.



Ilustración 25. Cable -Topsolar PV H1Z2Z2-K

5. Sistema de monitorización.

El sistema de monitorización de la planta fotovoltaica está compuesto por el Huawei SmartLogger3000A y el Huawei Smart Power Sensor DTSU666-H, que permiten una gestión avanzada, segura y en tiempo real del rendimiento energético de la instalación.

El SmartLogger3000A actúa como centro de control de comunicaciones. Garantizando una integración sencilla con inversores, sensores y plataformas de gestión energética.



Ilustración 26. SmartLogger3000A

El Smart Power Sensor DTSU666-H, por su parte, permite una medición precisa de parámetros eléctricos como tensión, intensidad, potencia y energía consumida, con una precisión clase I. Convirtiéndose en una solución eficiente y fiable para el control del balance energético entre generación, consumo y almacenamiento.



Ilustración 27. Smart Power Sensor DTSU666-H

6.2. Sistema de almacenamiento con baterías

6.2.1. Tipología de baterías seleccionadas y criterio de elección

Para nuestro proyecto utilizaremos el tipo de baterías ion-litio, ya que, son más rentables que las demás, esto tras evaluar la relación entre la eficiencia, la vida útil y el coste. El modelo a utilizar es LUNA2000-200KWH-2HI Smart String ESS, marca Huawei que posee una capacidad máxima de almacenamiento de 193,5 kWh y una potencia nominal de descarga de 100 kW. Estas baterías utilizan tecnología LFP (fosfato de hierro y litio), lo que les confiere una alta seguridad, larga vida útil y un excelente rendimiento térmico.

Integra un sistema de refrigeración activa mediante aire acondicionado industrial y dispone de un sistema propio de supresión de incendios, lo que garantiza su fiabilidad y seguridad operativa.

6.2.2. Dimensionamiento de banco de baterías y parámetros operativos

Para complementar el sistema fotovoltaico y optimizar el aprovechamiento de la energía generada, se ha incorporado un sistema de almacenamiento mediante baterías de ion-litio, modelo Huawei LUNA2000-200KWH-2HI. Esta solución permite maximizar el autoconsumo energético, reducir la dependencia de la red eléctrica durante los periodos sin generación solar y mejorar la gestión de los excedentes fotovoltaicos.

El sistema seleccionado cuenta con una capacidad útil de 174,15 kWh y una potencia nominal de descarga de 100 kW, lo que resulta adecuado para una instalación con elevada demanda energética como es el caso de la almazara analizada, con un consumo anual de 1.250.000 kWh.



Ilustración 28. Sistema de almacenamiento -Huawei LUNA2000-200KWH-2HI

Parámetros clave del sistema:

- Tecnología: Litio-ferrofosfato (LiFePO_4).
- Capacidad útil de almacenamiento: 193,5 kWh.
- Potencia nominal de carga/descarga: 100 kW.
- Eficiencia energética del sistema: >98,5 %.
- Protección IP55, apta para exteriores.
- Sistema de refrigeración activo y supresión de incendios integrada.
- Vida útil estimada: >6.000 ciclos (al 90 % DoD).

El dimensionamiento está orientado principalmente a almacenar los excedentes fotovoltaicos diurnos para su uso posterior durante las horas sin generación. No obstante, una funcionalidad adicional que aporta flexibilidad operativa y económica es la posibilidad de cargar la batería desde la red eléctrica durante las horas con menor coste energético y utilizar esa energía almacenada en los tramos horarios donde el precio de la electricidad es más elevado. Esta estrategia, conocida como “arbitraje energético”, permite reducir el coste total de suministro eléctrico y mejorar el retorno de la inversión en almacenamiento.

La integración con los inversores Huawei SUN2000-100KTL-M2 y el sistema de monitorización SmartLogger3000A garantiza una operación inteligente y optimizada, adaptándose dinámicamente a las condiciones de producción, consumo y precio de la energía.

6.2.3. Estrategia de carga, descarga y autonomía energética

La estrategia operativa del sistema de almacenamiento se basa en optimizar la disponibilidad de energía renovable para cubrir la demanda de la almazara, reducir la dependencia de la red y minimizar los costes energéticos asociados. Para ello, se definen tres modos principales de operación:

1. Carga mediante excedente fotovoltaico: Durante las horas centrales del día, cuando la producción fotovoltaica supera la demanda instantánea de la instalación, el excedente energético es dirigido automáticamente hacia el sistema de baterías. Este modo permite maximizar el autoconsumo y evita la inyección innecesaria de energía a red, especialmente en escenarios donde la compensación por excedentes es baja o inexistente.

2. Carga desde red en horario económico: El sistema de almacenamiento también permite cargar las baterías durante las horas en las que el precio de la electricidad es más bajo. Posteriormente, esta energía se utilizará en horas punta o cuando el precio de la electricidad sea elevado, aplicando una estrategia de arbitraje energético que mejora el rendimiento económico de la instalación y reduce significativamente el coste de la factura eléctrica.
3. Descarga optimizada para demanda interna: La descarga se gestiona de forma programada o automática en función del perfil de consumo y del estado de carga de la batería. El objetivo es suministrar energía renovable almacenada en los momentos de mayor demanda eléctrica, o bien cuando no existe producción solar (noche o días nublados), contribuyendo así a una mayor independencia energética y a una reducción del término de potencia contratado.

Autonomía energética estimada

El sistema de almacenamiento energético propuesto para la instalación fotovoltaica de la almazara está compuesto por dos baterías con una capacidad nominal de 193,5 kWh cada una, lo que supone un total de 387 kWh. No obstante, con el objetivo de preservar su vida útil y aumentar su número de ciclos, se ha considerado una profundidad de descarga del 90 %, lo que reduce la capacidad útil total disponible a 348,3 kWh.

Durante el periodo de actividad de la almazara, que abarca los meses de noviembre a marzo, el consumo energético total asciende a 1.250.000 kWh, distribuido a lo largo de 151 días operativos. Esto implica un consumo medio diario de aproximadamente 8.278 kWh. Considerando que estará en funcionamiento 10 horas diarias (de 8:00 a 18:00), el consumo horario medio es de 827,8 kWh/hora.

Para maximizar el aprovechamiento del sistema de almacenamiento, se plantea una estrategia de operación basada en la optimización de la tarifa eléctrica y la curva de producción solar. En concreto, se propone realizar la carga de las baterías durante las horas valle, cuando el precio de la electricidad es más bajo, así como mediante excedentes de generación fotovoltaica.

Posteriormente, la energía almacenada será utilizada durante aquellas franjas horarias en las que la producción fotovoltaica es insuficiente y el precio de la energía en el mercado es más elevado (horas punta), con el objetivo de reducir el coste energético global del sistema. Esta estrategia contribuye a mejorar la rentabilidad de la instalación, incrementando el autoconsumo efectivo y minimizando la dependencia de la red en los periodos más costosos.

6.3. Análisis de generación y consumo

Teniendo en cuenta que la demanda energética de la almazara se concentra exclusivamente durante la campaña de producción, el análisis de consumo se ha focalizado en el periodo comprendido entre los meses de noviembre y marzo, ambos inclusive. Para realizar el análisis

Para el análisis energético durante los meses de campaña, se utilizarán los datos previamente generados mediante la simulación en PVsyst, los cuales se encuentran reflejados en la Tabla 2. A partir de estos resultados mensuales, se procederá a estimar un día tipo para cada mes, lo que permitirá evaluar el comportamiento energético diario de la instalación, tanto en términos de generación fotovoltaica como de demanda eléctrica.

A continuación, se presentan las gráficas comparativas de consumo y generación FV correspondiente a los días de campaña:

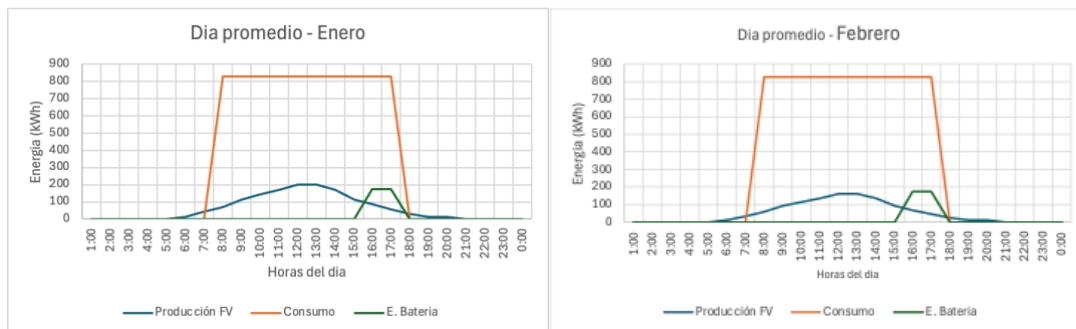


Ilustración 29. Gráficas consumo y producción en enero y febrero

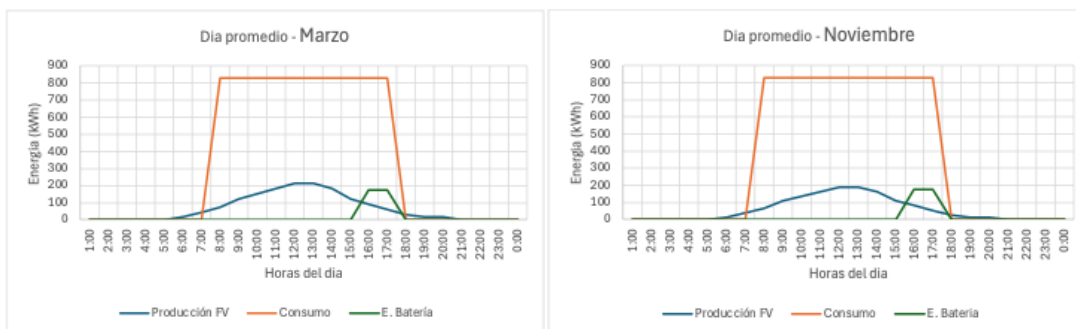


Ilustración 30. Gráfica consumo y producción en marzo y abril

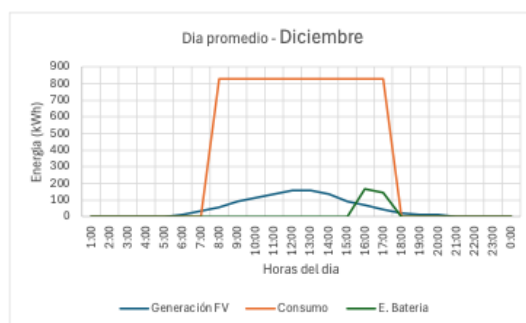


Ilustración 31. Gráfica consumo y producción en diciembre

COMPARATIVA PRODUCCIÓN vs CONSUMO EN CAMPAÑA					
MES	Producción (kWh)	Consumo (aprox) (kWh)	% cubierto por FV (%)	Cubierta por Batería (%)	Cubierta por total (%)
Noviembre	40640	248344,3709	16,36	4,21	20,57
Diciembre	35210	256622,5166	13,72	4,21	17,93
Enero	44290	256622,5166	17,26	4,21	21,47
Febrero	31880	231788,0795	13,75	4,21	17,96
Marzo	46890	256622,5166	18,27	4,21	22,48

Tabla 4. Tabla resumen producción vs consumo

Como puede observarse, el consumo estimado mensual se ha calculado en base a un consumo total de 1.250.000 kWh durante la campaña, distribuido en 151 días operativos, lo que da lugar a un consumo medio diario de 8.278 kWh.

En cuanto a la producción fotovoltaica, se presentan valores que oscilan entre los 31.880 kWh en febrero y los 46.890 kWh en marzo, lo que representa una cobertura directa de entre el 13,72 % y el 18,27 % del consumo mensual, dependiendo del mes.

Además, se ha considerado el aporte adicional del sistema de baterías (2 unidades de 193,5 kWh con una profundidad de descarga útil del 90 %), que proporciona una capacidad de descarga diaria de 348,3 kWh, lo cual supone una aportación energética constante del 4,21 % al consumo mensual en todos los meses de campaña.

Al sumar ambos aportes (FV + batería), se obtiene un porcentaje total de cobertura que varía desde el 17,93 % en diciembre hasta el 22,48 % en marzo, siendo este último el mes con mayor rendimiento global del sistema.

6.4. Gestión de excedentes eléctrico

Durante los meses en los que la almazara no se encuentra en campaña de producción (de abril a octubre), el consumo eléctrico se reduce de forma considerable, mientras que la producción fotovoltaica alcanza sus valores máximos anuales debido al aumento de la radiación solar. Esta situación genera un excedente energético significativo, el cual puede ser inyectado a la red y compensado económicamente mediante los mecanismos establecidos por la comercializadora eléctrica.

En este contexto, se propone una estrategia de gestión del sistema de almacenamiento orientada a la rentabilidad energética: cargar las baterías durante las horas de mayor producción fotovoltaica y cuando el precio de la electricidad sea más bajo (horas valle), y descargar y verter la energía almacenada en los tramos horarios con precios más elevados (horas punta). Esta operación, basada en la optimización de la tarifa dinámica, permite maximizar los ingresos por venta de excedentes, contribuyendo así a mejorar el retorno económico del sistema durante los meses de baja demanda interna.

A continuación, se muestra la generación de energía FV en un día promedio de cada mes:

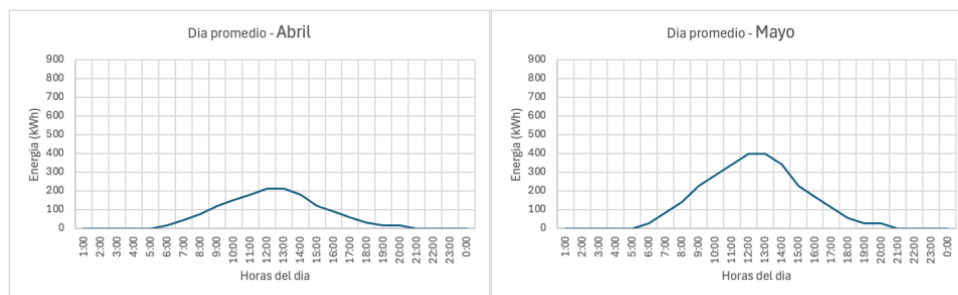


Ilustración 32. Producción de FV en abril y mayo

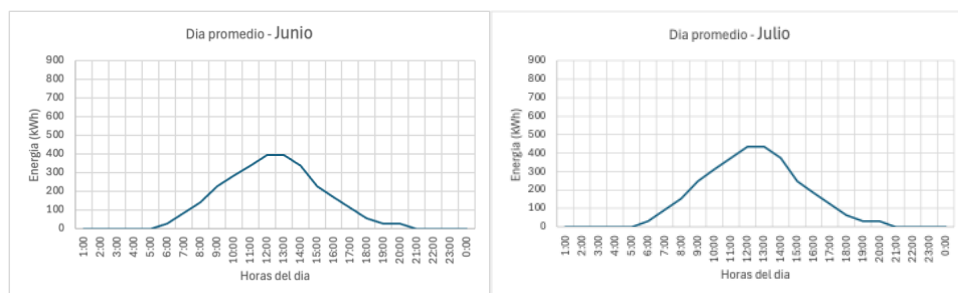


Ilustración 33. Producción de FV en junio y julio

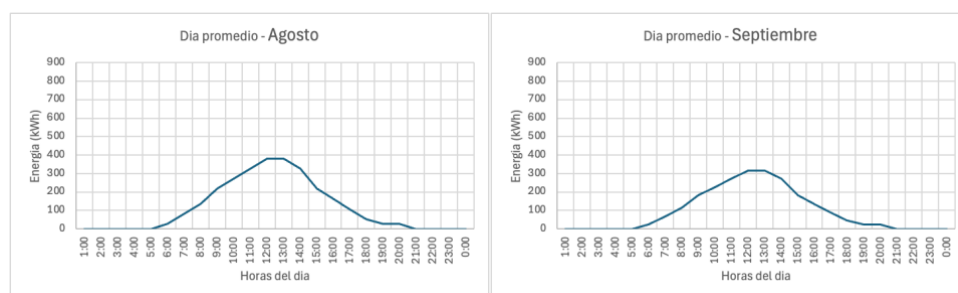


Ilustración 34. Producción de FV en agosto y septiembre

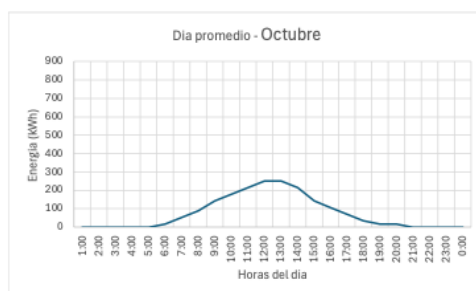


Ilustración 35. Producción de FV en octubre

En la siguiente tabla se muestra la energía generada por la instalación fotovoltaica desglosada por franjas horarias correspondientes a un día promedio de cada uno de los meses del año. Estos datos han sido extraídos a partir del estudio realizado con PVsyst.

Horas	ENERGÍA PRODUCIDA (kWh)											
	MESES											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6:00	14,29	11,39	15,13	22,74	28,57	28,31	31,04	27,13	22,59	18,03	13,55	11,36
7:00	42,86	34,16	45,38	68,22	85,71	84,92	93,11	81,38	67,77	54,08	40,64	34,07
8:00	71,44	56,93	75,63	113,70	142,85	141,53	155,18	135,63	112,95	90,13	67,73	56,79
9:00	114,30	91,09	121,01	181,92	228,57	226,45	248,28	217,01	180,72	144,21	108,37	90,86
10:00	142,87	113,86	151,26	227,40	285,71	283,07	310,35	271,26	225,90	180,26	135,47	113,58
11:00	171,45	136,63	181,51	272,88	342,85	339,68	372,43	325,51	271,08	216,31	162,56	136,30
12:00	200,02	159,40	211,76	318,36	399,99	396,29	434,50	379,76	316,26	252,36	189,65	159,01
13:00	200,02	159,40	211,76	318,36	399,99	396,29	434,50	379,76	316,26	252,36	189,65	159,01
14:00	171,45	136,63	181,51	272,88	342,85	339,68	372,43	325,51	271,08	216,31	162,56	136,30
15:00	114,30	91,09	121,01	181,92	228,57	226,45	248,28	217,01	180,72	144,21	108,37	90,86
16:00	85,72	68,31	90,75	136,44	171,43	169,84	186,21	162,75	135,54	108,15	81,28	68,15
17:00	57,15	45,54	60,50	90,96	114,28	113,23	124,14	108,50	90,36	72,10	54,19	45,43
18:00	28,57	22,77	30,25	45,48	57,14	56,61	62,07	54,25	45,18	36,05	27,09	22,72
19:00	14,29	11,39	15,13	22,74	28,57	28,31	31,04	27,13	22,59	18,03	13,55	11,36
20:00	14,29	11,39	15,13	22,74	28,57	28,31	31,04	27,13	22,59	18,03	13,55	11,36
21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 5. Producción de energía FV por hora en un día promedio de cada mes

7. Beneficio ambiental y social

7.1. Reducción de emisiones y beneficios ambientales

- La descarbonización El mix de la red eléctrica española publicado por la CNMC en fecha 24 de abril de 2025 (para la energía producida en 2024) es 283g CO₂/kWh. Con lo que con esta instalación se evita la emisión de aproximadamente de 210,51 t CO₂ anuales
- Mejorar la calidad del aire en las zonas rurales sustituyendo combustibles fósiles en procesos térmicos o eléctricos.
- En tratamientos para la gestión de residuos minimizando la contaminación de los suelos y aguas subterráneas.
- La sostenibilidad, al utilizar tecnologías 100% renovables estamos contribuyendo con los objetivos especificados en el Acuerdo de París y las políticas de la UE.

7.2. Sustitución de combustibles fósiles

- Para generación eléctrica en almazaras que se encuentran en lugares aislados o con acceso limitado a la red, las baterías garantizan un suministro eléctrico continuo, incluso de noche, para iluminar, operar maquinaria o alimentar sistemas de refrigeración en almacenes agrícolas.

7.3. Beneficio para el desarrollo rural

- Creación de empleos, se necesitará personal local para la construcción, operación y mantenimiento de la instalación.
- Cohesión territorial mediante la producción de energías renovables fomentaremos la autosuficiencia energética en zonas rurales, así como atraer inversiones a estas zonas.
- Innovación, posicionando a las almazaras como un referente de sostenibilidad, mediante la utilización de estas tecnologías renovables.

8. Análisis económico y de viabilidad

La energía fotovoltaica en España ha experimentado un auge significativo debido a sus ventajas competitivas: recursos solares ilimitados, bajos costos de operación y mantenimiento, y una vida útil de los paneles superior a 20 años. España, con 3.000 horas de sol anuales y terrenos abundantes, especialmente en el sur, es ideal para proyectos FV.

El sector FV puede ser clave para cumplir los objetivos del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030, que busca aumentar la participación de energías renovables al 42% para 2030.

Entre 2019 y 2021, el sector FV aportó 10.073 millones de euros al PIB español, con un crecimiento del 27% en impacto directo. En 2021, generó 90.742 empleos (22.694 directos, 39.479 indirectos, 28.569 inducidos). Además, en el 2021, España alcanzó una potencia instalada 3.487 MW en plantas y 1.203 MW en autoconsumo, con un crecimiento del 102% en este último. La eliminación del impuesto al sol en 2018 y las políticas de apoyo al autoconsumo han facilitado esta expansión, especialmente en regiones del sur.

La crisis energética derivada de la guerra en Ucrania ha reforzado la necesidad de reducir la dependencia de combustibles fósiles. La FV en España, especialmente en el sur, ofrece una solución para generar energía limpia localmente, reduciendo costos eléctricos y fortaleciendo la seguridad energética.

La zona sur de España es particularmente relevante para el sector agrícola debido a sus grandes extensiones de terreno, por lo que, si se abren convocatorias de instituciones como el PERTE ERHA Proyectos de Innovadores de I+D de Almacenamiento Energético en el Marco del PRTR con fondos NextGenerationEU, año 2022 (IDAE, 2022), que tiene como fin impulsar el desarrollo de tecnologías de almacenamiento energético. También podemos hacer mención a la Primera Convocatoria del Programa de Incentivos de Proyectos Innovadores de Energías Renovables y Almacenamiento, así como a la implantación de sistemas térmicos renovables (Energías Renovables Innovadoras), en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia, financiado por la Unión Europea-NextGenerationEU (IDAE, 2025), que se encuentra vigente actualmente y que tiene como objetivo destinar 148,5 millones de euros distribuidos en 199 proyectos de implementación de energías renovables innovadoras, como ser la agrovoltaica, fotovoltaica flotante, o integrada a infraestructuras incorporando almacenamiento en todos los casos. Por lo tanto, con este tipo de ayudas tenemos la oportunidad financiar proyectos fotovoltaicos en el sur, apoyando la transición hacia una agricultura sostenible

8.1. Inversión inicial estimada

En la Tabla 6 se detalla el presupuesto estimado para la ejecución material del sistema fotovoltaico con almacenamiento, incluyendo todos los componentes necesarios para su instalación. El coste total asciende a 302.745,28 € (IVA incluido).

Este presupuesto representa la inversión inicial necesaria para la implantación del sistema, y constituye la base para los análisis posteriores de viabilidad económica, amortización y retorno de la inversión.

	Precio/uds	Uds	Total
1. Módulos fotovoltaicos			
JA solar 550W	52,25 €	865	45.196,25 €
2. Inversoras			
Huawei SUN200-100KTL-M2	3.600,00 €	4	14.400,00 €
3. Sistema de almacenamiento			
LUNA2000-200KWH-2H1	61.000,00 €	2	122.000,00 €
4. Estructura			
Estructura coplanar SunFer 03V	80,00 €	289	23.120,00 €
5. Cableado			
Cable solar 6mm2 Topsolar PV H1Z2Z2-K	0,69 €	1000	685,00 €
Cable solar 70mm2 Topsolar PV H1Z2Z2-K	7,10 €	20	142,00 €
6. Protecciones			
Caja moldeada	365,12 €	4	1.460,48 €
7. Monitorización y comunicación			
SmartLogger3000A	420,00 €	1	420,00 €
Smart Power Sensor DTSU666-H	615,00 €	1	615,00 €
8. Mano de obra			
Peon electricista	10,84 €	80	867,20 €
Oficial de 1º	15,67 €	35	548,45 €
9. Seguridad y salud			
Elementos de seguridad y salud	800,00 €	1	800,00 €
Presupuesto de ejecución material (PEM)			210.254,38 €
13% Gastos Generales			27.333,07 €
6% Beneficio Industrial			12.615,26 €
Total			250.202,71 €
21% IVA			52.542,57 €
Total Presupuesto			302.745,28 €

Tabla 6. Presupuesto de la instalación

8.2. Ahorro energético y retorno de inversión

La instalación fotovoltaica propuesta cuenta con una potencia de 476 kWp y una producción anual estimada de 743,80 MWh/año. Aunque inicialmente este valor podría representar una cobertura del 59,5 % del consumo anual de la almazara (1.250 MWh/año), es importante destacar que dicho consumo se concentra únicamente en los cinco meses de campaña (de noviembre a marzo). Por tanto, la energía generada por la instalación fotovoltaica se distribuye a lo largo de todo el año, lo que limita su capacidad real de cubrir directamente el consumo en campaña. Aun así, esta producción permite una reducción significativa del coste energético anual, tanto por autoconsumo

durante los meses de actividad como por la venta de excedentes en los meses de baja demanda.

Tomando como referencia el precio medio de la electricidad en España durante el año 2024, situado en torno a 0,13 €/kWh, y considerando que la producción eléctrica en los meses de campaña asciende a 198.910 kWh, es posible estimar un ahorro económico directo anual que se sitúa en el rango de:

- $198.910 \text{ kWh} \times 0,13 \text{ €/kWh} = 25.858,30 \text{ €}$

8.3. Valor añadido del sistema de baterías

El sistema de almacenamiento instalado, compuesto por dos baterías de ion-litio Huawei LUNA2000-200KWH-2H1, ofrece una capacidad útil total de 348,3 kWh y una potencia nominal conjunta de 100 kW, añade una funcionalidad estratégica al conjunto: permite almacenar el excedente fotovoltaico durante las horas de máxima producción y liberarlo cuando hay mayor demanda o menor producción. Además, permite aplicar estrategias de arbitraje energético, cargando la batería durante las horas de menor precio eléctrico (tramos valle) y consumiendo esa energía en las horas punta, donde el precio del kWh es superior.

Según los perfiles horarios del mercado eléctrico español en 2024, se han registrado diferencias aproximadamente 0,17 €/kWh entre el precio valle y el precio punta. Esto supone una oportunidad adicional de ahorro.

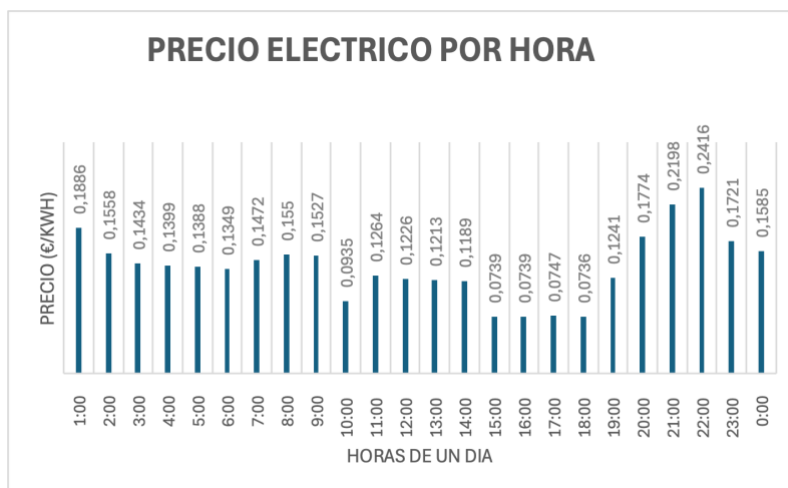


Ilustración 36. Precio de la luz por hora, de un día promedio

Si se cargan diariamente 348,3 kWh en horario valle (0,07 €/kWh) y se consumen en horario punta (0,24 €/kWh), el beneficio neto diario sería:

$$(0,24 - 0,07) \text{ €/kWh} \times 348,3 \text{ kWh} = 59,14 \text{ €/día.}$$

Esto supone unos 21.583,10 € de ahorro anual adicional.

8.4. Venta de excedentes

Teniendo en cuenta la Tabla 5 descartando los meses que no tenemos excedente durante la campaña obtenemos la siguiente tabla:

ENERGÍA PRODUCIDA (kWh)												
	MESES											
horas	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
6:00	14,29	11,39	15,13	22,74	28,57	28,31	31,04	27,13	22,59	18,03	13,55	11,36
7:00	42,86	34,16	45,38	68,22	85,71	84,92	93,11	81,38	67,77	54,08	40,64	34,07
8:00	71,44	56,93	75,63	113,70	142,85	141,53	155,18	135,63	112,95	90,13	67,73	56,79
9:00	114,30	91,09	121,01	181,92	228,57	226,45	248,28	217,01	180,72	144,21	108,37	90,86
10:00	142,87	113,86	151,26	227,40	285,71	283,07	310,35	271,26	225,90	180,26	135,47	113,58
11:00	171,45	136,63	181,51	272,88	342,85	339,68	372,43	325,51	271,08	216,31	162,56	136,30
12:00	200,02	159,40	211,76	318,36	399,99	396,29	434,50	379,76	316,26	252,36	189,65	159,01
13:00	200,02	159,40	211,76	318,36	399,99	396,29	434,50	379,76	316,26	252,36	189,65	159,01
14:00	171,45	136,63	181,51	272,88	342,85	339,68	372,43	325,51	271,08	216,31	162,56	136,30
15:00	114,30	91,09	121,01	181,92	228,57	226,45	248,28	217,01	180,72	144,21	108,37	90,86
16:00	85,72	68,31	90,75	136,44	171,43	169,84	186,21	162,75	135,54	108,15	81,28	68,15
17:00	57,15	45,54	60,50	90,96	114,28	113,23	124,14	108,50	90,36	72,10	54,19	45,43
18:00	28,57	22,77	30,25	45,48	57,14	56,61	62,07	54,25	45,18	36,05	27,09	22,72
19:00	14,29	11,39	15,13	22,74	28,57	28,31	31,04	27,13	22,59	18,03	13,55	11,36
20:00	14,29	11,39	15,13	22,74	28,57	28,31	31,04	27,13	22,59	18,03	13,55	11,36
TOTAL (kWh)	1442,99677	1149,95714	1527,70645	2296,74	2885,66774	2858,97333	3134,583871	2739,70645	2281,59	1820,60645	1368,21333	1147,16452

Tabla 7 Producción de energía, dentro y fuera de campaña



Ilustración 37 Producción de energía, dentro y fuera de campaña

La instalación está situada en Baeza (Jaén) por lo que la empresa suministradora de energías es e-Distribución (Endesa), la cual ofrece una compensación de los excedentes eléctricos de 0,06€/kWh para la modalidad de autoconsumo con compensación simplificada.

Con lo que se obtienes unos beneficios por dichos meses de:

INGRESOS POR LA VENTA DE EXCEDENTES						
Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
137,80 €	173,14 €	171,54 €	188,08 €	164,38 €	136,90 €	109,24 €

Tabla 8 Beneficios por la venta de excedente por meses

Haciendo un total de 1.081,07 € por año de beneficio por la venta de excedente de los meses que no se tiene actividad en la almazara.

Teniendo en cuenta el ahorro eléctrico obtenido durante los meses de campaña, la venta de excedentes en los periodos fuera de campaña y la estrategia de gestión de las baterías, se alcanza un ahorro anual estimado de 48.522,47 €.

Año	Ingresos (€)	Gastos (€)	Flujo Neto de Caja (€)	Flujo Acumulado (€)
0	0	302.745,28	-302.745,28	-302.745,28
1	48.522,47	9.082,36	39.440,11	-263.305,17
2	48.522,47	9.354,83	39.167,64	-224.137,53
3	48.522,47	9.635,47	38.887,00	-185.250,53
4	48.522,47	9.924,54	38.597,93	-146.652,60
5	48.522,47	10.222,27	38.300,20	-108.352,41
6	48.522,47	10.528,94	37.993,53	-70.358,88
7	48.522,47	10.844,81	37.677,66	-32.681,22
8	48.522,47	11.170,16	37.352,31	4.671,09
9	48.522,47	11.505,26	37.017,21	41.688,30
10	48.522,47	11.850,42	36.672,05	78.360,36
11	48.522,47	12.205,93	36.316,54	114.676,90
12	48.522,47	12.572,11	35.950,36	150.627,26
13	48.522,47	12.949,27	35.573,20	186.200,46
14	48.522,47	13.337,75	35.184,72	221.385,18
15	48.522,47	13.737,88	34.784,59	256.169,77

Tabla 9. Recuperación de la inversión.

De la tabla 9 tenemos que nuestra inversión inicial son 302.745,28 € (este valor sale del presupuesto total), por lo que, obtenemos un VAN de 256.169,77 € y un TIR de 9%, además se considera un 3% anual del valor inicial de la inversión para gastos operativos y administrativos.

8.5. Comparativa económica del sistema FV con y sin sistema de almacenamiento

En este apartado se analiza la rentabilidad económica de la instalación fotovoltaica propuesta, comparando dos escenarios: uno con sistema de almacenamiento mediante baterías y otro sin él.

La inversión inicial en el sistema sin baterías asciende a 127.077,48 €, mientras que en el caso del sistema con baterías alcanza los 302.745,28 €, debido a la incorporación del sistema de almacenamiento energético.

En términos de retorno, el análisis muestra que el sistema sin baterías recupera su inversión en aproximadamente 4,7 años, mientras que el sistema con baterías requiere unos 6,2 años. A pesar del mayor plazo de amortización, el sistema con almacenamiento presenta una rentabilidad superior a medio-largo plazo.

En un horizonte de 15 años, y una vez cubierta la inversión inicial, se obtienen los siguientes beneficios netos acumulados:

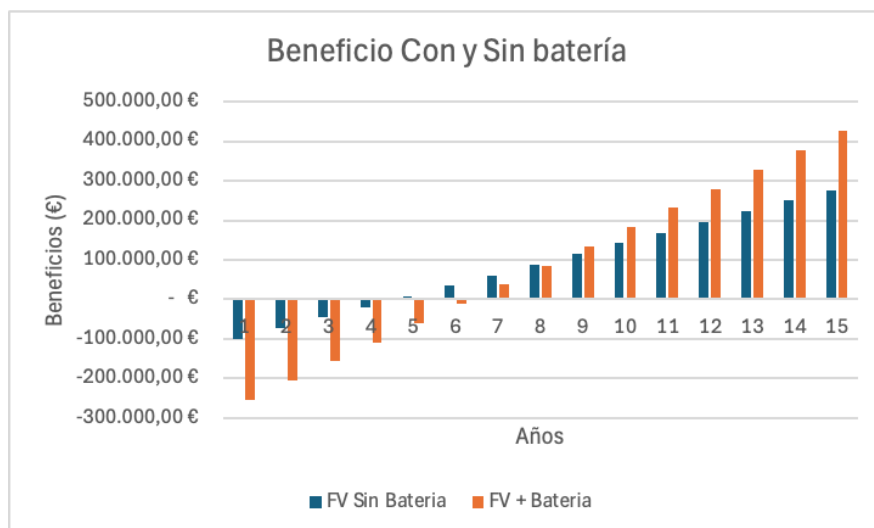


Ilustración 38 Comparativa de retorno de inversión y beneficios de sistemas con y sin batería

- 304.414,88 € en el sistema sin baterías
- 475.520,21 € en el sistema con baterías

Año	Sin Bateria	Con Bateria
	Beneficio (€)	Beneficio (€)
1	- 100.138,11 €	- 254.222,81 €
2	- 73.198,74 €	- 205.700,34 €
3	- 46.259,37 €	- 157.177,87 €
4	- 19.320,00 €	- 108.655,40 €
5	7.619,37 €	- 60.132,93 €
6	34.558,74 €	- 11.610,46 €
7	61.498,11 €	36.912,01 €
8	88.437,48 €	85.434,48 €
9	115.376,85 €	133.956,95 €
10	142.316,22 €	182.479,42 €
11	169.255,59 €	231.001,89 €
12	196.194,96 €	279.524,36 €
13	223.134,33 €	328.046,83 €
14	250.073,70 €	376.569,30 €
15	277.013,07 €	425.091,77 €
TOTAL	277.013,07 €	425.091,77 €

Tabla 10 Comparativa de retorno de la inversión y benefició de ambos escenarios en 15 años

Estos resultados demuestran que, aunque la inversión inicial del sistema con baterías es más elevada, la capacidad de optimizar el autoconsumo y reducir la dependencia de la red permite lograr una rentabilidad significativamente mayor a lo largo del tiempo.

8.6. DAFO

Fortalezas

- **Elevada radiación solar:** España posee una de las mayores tasas de irradiación solar de Europa, lo que incrementa el rendimiento energético de las instalaciones FV.
- **Reducción de costes:** el coste de los módulos FV ha descendido más de un 80 % en la última década.
- **Marco normativo favorable:** legislación reciente ha eliminado barreras como el “impuesto al sol” y ha simplificado los trámites para el autoconsumo.
- **Capacidad tecnológica e industrial:** presencia de empresas competitivas a nivel nacional e internacional en diseño, instalación y operación de sistemas FV.
- **Acumulación de energía:** Con ayuda de las baterías se puede almacenar los excedentes y usarlos cuando no exista producción fotovoltaica
- **Perfil de consumo predecible:** las almazaras tienen patrones de consumo estacional y horario definidos, lo que facilita el dimensionamiento óptimo del sistema solar y de almacenamiento.
- **Reducción de costes operativos:** el sistema que se plantea diseñar puede reducir significativamente la factura eléctrica a medio y largo plazo, pudiendo mejorar la competitividad del producto final.
- **Modelo replicable y escalable:** el diseño puede servir de referencia para otras explotaciones agroindustriales, aumentando el impacto del proyecto.
- **Autonomía energética frente a crisis eléctricas:** El sistema fotovoltaico con almacenamiento permite a la almazara seguir operando de forma parcial o total incluso durante cortes de suministro, como los registrados en el apagón nacional de 2025. Esta capacidad de autoabastecimiento refuerza la seguridad operativa y evita pérdidas económicas en momentos críticos de la producción agrícola.

Debilidades

- **Baja participación ciudadana:** limitada implantación de comunidades energéticas y proyectos cooperativos.
- **Complejidad administrativa:** los trámites burocráticos siguen siendo largos y descoordinados entre administraciones.
- **Dependencia de componentes importados:** gran parte de los paneles, inversores y baterías proviene de Asia.
- **Problemas de integración en red:** sobre todo en zonas rurales con infraestructuras eléctricas poco desarrolladas.
- **Alto coste inicial:** aunque se aprecie una rentabilidad a largo plazo, la inversión en FV más baterías sigue siendo elevada, especialmente para pymes en el sector agrícola.
- **Mantenimiento especializado:** el sistema requerirá de un cierto grado de conocimientos técnicos o contratos de mantenimiento, para su gestión y resolución de incidencia con lo que aumentará su precio de inversión.

- **Dependencia de financiación externa:** el éxito del proyecto puede verse condicionado por la obtención de ayudas externas o subvenciones.

Oportunidades

- **Fondos europeos y ayudas públicas:** el Plan de Recuperación y el NextGenerationEU representan una fuente de financiación clave.
- **Desarrollo de comunidades energéticas:** promueve la descentralización energética y el empoderamiento ciudadano.
- **Revalorización del mundo rural:** la fotovoltaica puede generar empleo, atraer población y diversificar la economía en zonas despobladas.
- **Avances en almacenamiento energético:** baterías y sistemas de gestión inteligente pueden mejorar la eficiencia y la estabilidad del suministro.
- **Compensación de excedentes:** Los excedentes que se produzcan una vez las baterías están cargadas pueden ser remunerados.
- **Aplicación en regadíos y otros usos agrícolas:** puede aplicarse para incluir bombeo solar, climatización o electrificación de máquinas agrícolas a largo plazo.
- **Digitalización y gestión:** la integración de sistemas de monitorización en tiempo real permitirá optimizar la producción, consumo y almacenamiento energético.
- **Vinculación con comunidades energéticas rurales:** el sistema puede integrarse en modelos colectivos para fomentar el autoconsumo compartido y la cohesión territorial.
- **Impulso institucional de resiliencia energética tras el apagón de 2025:** Se ha intensificado el interés público y político por fomentar instalaciones descentralizadas, capaces de operar de forma independiente ante fallos de la red que ha derivado en nuevas líneas de subvención, cambios normativos favorables y mayor aceptación social para proyectos de autoconsumo con almacenamiento en entornos rurales.

Amenazas

- **Conflictos por el uso del suelo:** en algunas zonas agrícolas y naturales ha surgido oposición por la ocupación de terrenos productivos.
- **Aceptación social desigual:** especialmente en entornos rurales donde hay miedo a la “industrialización del campo”.
- **Riesgos regulatorios:** posibles cambios legislativos que afecten negativamente a la inversión.
- **Presión sobre la red eléctrica:** el crecimiento rápido de la generación FV puede generar cuellos de botella si no se refuerzan las redes de distribución.
- **Eventos climáticos externos:** Sequías o lluvias intensas podrían afectar tanto la producción agrícola como el funcionamiento del sistema solar.
- **Limitación actual en el desarrollo de las baterías:** El lento avance tecnológico en almacenamiento energético puede afectar la eficiencia, el coste y la vida útil del sistema, dificultando su implantación en la agroindustria.

9. Conclusiones

1. El sistema propuesto alcanza un Performance Ratio (PR) del 83,65 %, lo que indica un alto rendimiento respecto a la energía teórica disponible.
2. Con la instalación fotovoltaica y el sistema de almacenamiento, durante los meses de funcionamiento de la almazara se consigue cubrir aproximadamente el 20,08 % del consumo eléctrico total. De este porcentaje, un 15,87 % corresponde a la energía generada directamente por los paneles solares y un 4,21 % a la energía aportada por las baterías.
3. Reducción de emisiones de CO₂: El sistema evitará la emisión de entorno 210,51 t CO₂ anuales.
4. Gracias a la venta de excedentes eléctricos los meses que no se tiene consumo, se reduce ligeramente el tiempo de amortización de la instalación. Una vez amortizada la instalación estos ingresos se convierten en beneficios.
5. El proyecto fomenta la creación de empleo cualificado para la instalación y mantenimiento del sistema fotovoltaico como el sistema de almacenamiento de baterías, por lo que se impulsará a la formación y el empleo local.
6. A nivel económico, la instalación resulta rentable en ambos escenarios. Aunque el sistema con baterías requiere mayor inversión, ofrece un mayor ahorro y beneficio a largo plazo, con un retorno de la inversión en menos de 7 años y alta rentabilidad en 15 años.

Conclusions

1. The proposed system achieves a Performance Ratio (PR) of 83.65%, which indicates high performance relative to the theoretically available energy.
2. With the photovoltaic installation and the storage system, during the months of operation of the oil mill, approximately 20.08% of the total electrical consumption is covered. Of this percentage, 15.87% corresponds to the energy generated directly by the solar panels and 4.21% to the energy provided by the batteries.
3. Reduction in CO₂ emissions: The system will avoid the emission of approximately 210.51 t CO₂ annually.
4. Thanks to the sale of electrical surpluses in the months when there is no consumption, the payback time of the installation is slightly reduced. Once the installation is amortized, these revenues become profits.
5. The project promotes the creation of qualified employment for the installation and maintenance of the photovoltaic system as well as the battery storage system, thereby boosting local training and employment.
6. From an economic standpoint, the installation is profitable in both scenarios. Although the system with batteries requires a higher investment, it offers greater savings and long-term benefits, with a return on investment in less than 7 years and high profitability in 15 years.

10. Bibliografía

- Ganthia B et al. (2022). Comparative Analysis on Various Types of Energy Storage Devices for Wind Power Generation. 5. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/2161/1/012066>
- “Evolución de la media anual del tipo de cambio del euro al dólar estadounidense de 1999 a 2022.”. (s.f.).
- Agencia Andaluza de Energía. (2023). *Datos Energéticos de Andalucía 2023*, 94-97. Obtenido de <https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/DatosEnergeticos2023/>
- Agencia Andaluza de la Energía. (2025). *Datos Energéticos*. Obtenido de <https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/es/informacion-energetica/datos-energeticos>
- Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado. (2022). «BOE» núm. 305, de 22/12/2021. Obtenido de <https://www.boe.es/eli/es/rdl/2021/12/21/29/con>
- Andalucía-APDHA, A. P. (2024). *Pobreza Sur 2024*.
- B. I. (BE). F. the non-I. P. countries: I. K. (RTS C. A. J.-W. (EU-J. J. D. (UNEF). IEA PVPS Reporting Countries, E. B. A. V. R. M. de l'Epine (Becquerel I. Gaëtan Masson, and I. P. T. 1 Manager. Gaëtan Masson”. (2023). “*Snapshot of Global PV Markets 2023*.”.
- Enel Green Power. (2025). *BESS: Sistema de almacenamiento de energía en batería*. Obtenido de <https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables/almacenamiento/bess>
- GRANKIA. (2025). *How Does the Sealed Lead Acid Battery Work*. Obtenido de <https://www.grankia.com/how-does-the-sealed-lead-acid-battery-work.html>
- HERNANDEZ, R, A. UNIVERSIDAD DE SEVILLA. (s.f.). *Análisis económico de un sistema de almacenamiento para la disminución de desvíos de producción en un parque eólico*. Obtenido de <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/70692/fichero/10+Baterias+para+Almacenamiento+de+Energ%C3%ADa.pdf>
- Iberdrola. (2025). *Qué son los sistemas de almacenamiento de energía en baterías (BESS)*. Obtenido de <https://www.iberdrola.com/conocenos/nuestra-actividad/almacenamiento-energia/bess>
- IDAE. (2022). *Primera convocatoria de ayudas para proyectos innovadores de I+D de almacenamiento energético en el marco del PRTR*. Obtenido de <https://www.idae.es/ayudas-y-financiacion/primera-convocatoria-para-proyectos-de-id-de-almacenamiento-energetico-dentro>
- IDAE. (2025). *Energías Renovables Innovadoras - EERR Innovadoras*. Obtenido de <https://sede.idae.gob.es/tramites-servicios/programa-de-incentivos-de-proyectos-innovadores-de-energias-renovables-y>
- IEA. (2025). *Total venture capital funding into energy-related start ups, IEA, Paris* . Obtenido de <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/total-venture-capital-funding-into-energy-related-start-ups>, Licence: CC BY 4.0
- IEA. (2025). *World Energy Investment 2025*. Obtenido de <https://www.iea.org/reports/world-energy-investment-2025/executive-summary>

- International Energy Agency. (2020). “*Evolution of solar PV module cost by data source, 1970-2020.*”
- International Energy Agency. (2021). “*Solar PV electricity generation, World 1990-2021.*”
- Joysun New Energy. (2023). *¿Cuál es el principio de funcionamiento de la batería de litio?* Obtenido de <https://es.joysunenergy.com/news-show-1034088.html>
- Junta de Andalucía. (2022). *Boletín Oficial de la Junta de Andalucía Número 112, 14 de junio de 2022.* Obtenido de https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/sites/default/files/Documentos/Planificaci%C3%B3n/boja22-112-00003-9839-01_00263121.pdf
- Junta de Andalucía, Consejería de Sostenibilidad y Medio Ambiente. (2025). *Aplicación de descarga y visualización de escenarios climáticos regionalizados para Andalucía.* Obtenido de https://kerdoc.cica.es/cc?lr=lang_es
- Junta de Andalucía, Consejería de Sostenibilidad y Medio Ambiente. (2025). *Rediam Red de Información Ambiental de Andalucía.* Obtenido de <https://portalrediam.cica.es/VisorRediam/>
- LLOPIS, C, F UNIVERSIDAD DE SEVILLA. (2024). *Sistemas de almacenamiento energético basados en baterías a gran escala. Análisis de la situación actual en distintos mercados.* Obtenido de <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/75769/fichero/TFM-5769+Llopis+Cejudo.pdf>
- Luo X et al. (2014). Overview of current development in electrical energy storage technologies and the application potential in power system operation. 9. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.09.081>
- Red Andaluza de Lucha Contra la Pobreza y la Exclusión Social (EAPN-A). (2024). *14º Informe sobre el Estado de la Pobreza. Seguimiento de los indicadores de la Agenda UE 2030.* Obtenido de <https://www.eapn.es/estadodepobreza/index.php>
- REE. (2025). “*REData - Generación | Red Eléctrica de España,*”. Obtenido de <https://www.ree.es/es/datos/generacion>.
- Romera R. Universidad de Jaén. (2018). *Estudio de los consumo eléctricos de una almazara.* Obtenido de <https://crea.ujaen.es/items/da3b78ea-4db8-411a-8fe6-cbaa1dbe1dea>
- Segura E et al. (2023). A Strategic Analysis of Photovoltaic Energy Projects: The Case Study of Spain. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/su151612316>
- Tesla Transferring Energy Save Laid on Agroindustry. (2014). Consumos energéticos en almazaras. Obtenido de <https://teslaproject.chil.me/attachment/38ba8d05-d0f9-4624-8dfe-c9446fc993ca>
- VF Volta Foundation. (2025). *Battery Report (2024).* Obtenido de <https://volta.foundation/battery-report-2024>
- Yaksh Popat et al. (2022). Carbon Materials as Positive Electrodes in Bromine-Based Flow Batteries. 7. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1002/cplu.202100441>