



industriales
etsii

Escuela Técnica
Superior
de Ingeniería
Industrial

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Impacto de instalaciones fotovoltaicas en poblaciones de aves esteparias

TRABAJO FIN DE MÁSTER

MÁSTER UNIVERSITARIO EN ENERGÍAS RENOVABLES

Autor: JAVIER FERNÁNDEZ ROMO

**Director: MARÍA ESTHER DE JÓDAR
BONILLA**

**Codirector: JOSÉ ANTONIO VILLAREJO
MAÑAS**



Universidad
Politécnica
de Cartagena

Cartagena, 3 DE JUNIO DE 2023

RESUMEN

El presente estudio se focaliza en analizar el impacto ambiental de las instalaciones fotovoltaicas en relación con las poblaciones de aves esteparias, siendo un tema candente, de creciente preocupación en el ámbito de las energías renovables. El desarrollo de estas instalaciones ha culminado en debates y conflictos en torno al efecto o impacto sobre el ecosistema y, por ende, generando la necesidad de hallar un equilibrio entre la correcta conservación del hábitat de las aves y un desarrollo sostenible de las energías emergentes. Por ello, el trabajo aborda la necesidad de proponer o establecer alternativas a través de un análisis exhaustivo de casos y la evaluación de las distintas opciones. Se busca proporcionar una base sólida para toma de decisiones teniendo en cuenta la preservación de la fauna aviar esteparia. Es esperable que los resultados y las recopilaciones de este estudio supongan una contribución en cuanto a la información de alternativas y prácticas a seguir de cara a equilibrar el avance tecnológico y energético con la protección de las aves esteparias.

ABSTRACT

The study hereby focuses on analyzing the environmental impact regarding photovoltaic installations in relation to steppe bird populations, a current increasing concern about renewable energies. The development of these installations has led to debates and conflicts surrounding their effects against ecosystem, prompting the need to achieve a balance between preserving bird habitants and ensuring at the same time a sustainable growth of emerging energies. Hence, this study addresses the necessity of proposing and setting up alternatives through a comprehensive analysis of cases and different options evaluations. It aims to provide a robust foundation for decision building, taking into consideration the preservation of steppe bird fauna. The outcomes and results of this study are expected to contribute to the information on alternatives and best practices, aiming to harmonize technological and energy advancements with the protection of steppe bird populations.

ÍNDICE

1. MOTIVACIÓN	11
1.1. Objetivos	11
1.2. Conservación de la biodiversidad:	11
1.2.1. Responsabilidad medioambiental:.....	11
1.2.2. Preservación de especies amenazadas:.....	11
1.3. Desarrollo de medidas mitigadoras:	11
1.4. Fases del Trabajo.....	11
2. ESTADO DEL ARTE.....	13
2.1. Antecedentes	13
2.2. Definición de Ave Esteparia	13
2.3. Estrategia de conservación de aves amenazadas ligadas a medios agro-esteparios en España...13	
2.4. Factores de Riesgo	14
2.5. Noticias	15
3. NORMATIVA APLICABLE	17
3.1. Plan de Ordenación de los Recursos Naturales	17
3.2. Nacional	17
3.3. Autonómicas	18
3.4. Red Natura y ZEPA.....	18
3.5. Internacional.....	20
3.6. Evaluación del impacto ambiental de un proyecto en el ámbito nacional.....	20
4. INFORME IMPACTO AMBIENTAL	21
5. ANÁLISIS DE CASOS	22
5.1. Proyectos	22
5.1.1. Plantas fotovoltaicas Centaurus IV, de 119 MWp y 74,22 MWn, Centaurus V, de 119 MWp y 74,22 MWn, y Centaurus VI, de 119,75 MWp y 74,22 MWn.....	22
5.1.2. Lorca Solar de 386,22 MWp (X-ELIO).....	23
5.1.3. Herrera.....	24
5.1.4. Comparativa	26
6. RECOPIACIÓN MEDIDAS TRADICIONALES TOMADAS	29
7. APV (Agro-voltaica).....	32
7.1. Introducción:	32
7.2. Agro-voltaica y la mitigación factores de Riesgo	35
7.3. Módulos fotovoltaicos.....	35
7.3.1. Heggelbach.....	36

7.4.	Gestión de la luz.....	37
7.5.	Distancia entre filas.....	38
7.6.	Altura.....	40
8.	DISEÑO CONCEPTUAL INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA	40
8.1.	Ubicación:	41
8.2.	Irradiancia.....	43
8.3.	Características de la planta fotovoltaica.....	43
8.4.	Costes	47
8.4.1.	Costes de inversión.....	47
8.4.2.	Costes operativos.....	50
8.4.3.	Comparación alternativas diferente dimensionamiento para misma área de terreno	53
8.4.4.	Análisis comparativo	57
9.	BUENAS PRÁCTICAS	60
10.	CONCLUSIONES	61
11.	BIBLIOGRAFÍA.....	62
12.	ANEXOS.....	65
12.1.	Informe de simulación instalación FV en Almendricos con PVsyst.....	65

FIGURAS

Figura 1-1 Fases del trabajo	12
Figura 2-1 Mapa de distribución de las siete especies de aves ligadas a ambientes agro-esteparios consideradas en la Estrategia, durante la época de reproducción [1]	14
Figura 3-1 Número y superficie (en km ²) de espacios LIC, ZEPA y totales (LIC y ZEPA) de la Red Natura 2000 por administración competente [5].....	19
Figura 3-2 Mapa de la Red Natura en España (actualización de 2022) [6].....	19
Figura 6-1 Muestra de soportes de módulos fotovoltaicos que sirven para anidación de aves [12].	29
Figura 6-2 Modelo propuesto de vallado [4].....	30
Figura 7-1 Clasificación de sistemas agrovoltaicos [13].....	33
Figura 7-2 Ilustración de las categorías y formas de uso del suelo según DIN SPEC 91434 [13].	34
Figura 7-3 Esquema de configuraciones de sistemas agrovoltaicos [15].....	34
Figura 7-4 Tipología principal módulos (c-Si) [14].....	35
Figura 7-5 Tendencia de precios en el rango temporal de 06/2022-06/2023 [16].	36
Figura 7-6 Sistema agrivoltaico en Heggelbach, Alemania [13].	36
Figura 7-7 Perfil horario de electricidad para un sistema fotovoltaico bifacial montado verticalmente, orientado hacia el sur (ángulo de azimut = 0°) y hacia el este (ángulo de azimut = -90°) durante un único día [17].	37
Figura 7-8 Distribuciones óptimas de ángulo de azimut y distancia en comparación con la producción anual de electricidad [17].	38
Figura 7-9 Relación entre la distancia entre filas, la producción específica de energía fotovoltaica y el rendimiento de cultivos (avena y patata) [17].	38
Figura 7-10 Matriz de gráficos de dispersión del Índice de Equivalencia de Tierra (LER), la fluctuación de potencia (STD), la producción anual de electricidad (EL) y el ángulo de azimut (izquierda), y la distancia entre filas (derecha) [17].	38
Figura 7-11 Índice de Equivalencia de Tierra (LER) y sus contribuciones (es decir, el LER relacionado con el rendimiento del cultivo y con la producción de electricidad) para avena (derecha) y papa (izquierda) [17].....	39
Figura 7-12 Paneles orientados al este-oeste, sur y al sureste [13].	40
Figura 8-1 Área seleccionada para la superficie disponible de la instalación fotovoltaica	41
Figura 8-2 Zonas protegidas cercanas a la superficie seleccionada para la instalación.	42
Figura 8-3 Especies detectadas en la zona de Sierra de la Torecilla y Del Gigante.....	42
Figura 8-4 Especies detectadas en la zona de Sierra De la Almenara – Cabo Cope [19].	43
Figura 8-5 Ángulo de Inclinación y azimut en PVsyst.	44
Figura 8-6 Esquema-vista aérea PVsyst.....	44
Figura 8-7 Definición del sistema de fotovoltaico en PVsyst.	45
Figura 8-8 Características técnicas del módulo fotovoltaico.	46
Figura 8-9 Gasto de capital estimado (CAPEX) para sistemas fotovoltaicos montados en el suelo y sistemas agro-voltaicos.	48
Figura 8-10 Comparativa estimación coste de capital unitario (€/kWp)/Caso Agrovoltaica (APV)- Caso tradicional (Suelo).	49
Figura 8-11 Comparativa estimación coste de capital para potencia nominal 9220kWp/Caso Agrovoltaica (APV)- Caso tradicional (Suelo).	50

Figura 8-12 Comparativa estimación coste de de operación unitario (€/kWp)/Caso Agrovoltaica (APV)- Caso tradicional (Suelo).....	51
Figura 8-13 Comparativa estimación coste de operación para potencia nominal 9220kWp/Caso Agrovoltaica (APV)- Caso tradicional (Suelo).	52
Figura 8-14 Comparativa estimación coste de operación y mantenimiento para potencia nominal 9220kWp/Caso Agrovoltaica (APV)- Caso tradicional (Suelo).	53
Figura 8-15Comparativa estimación coste de operación y mantenimiento para potencia nominal 9220kWp/Caso Agrovoltaica (APV)- Caso tradicional (Suelo).	53
Figura 8-16.....	59
Figura 8-17 comparación de los costos nivelados estimados de electricidad según el gasto de capital (siglas en inglés: CAPEX) y los gastos operativos (siglas en inglés: OPEX) de sistemas fotovoltaicos montados en el suelo y sistemas agrivoltaicos [13].	59
Figura 9-1	60

TABLAS

Tabla 5-1	26
Tabla 7-1 Categorización de los sistemas Agro-voltaicos según DIN SPEC 91434 [17].	33
Tabla 8-1 Balances y resultados principales PVSystem	43
Tabla 8-2 Comparativa estimación coste de capital unitario (€/kWp)/Caso Agrovoltaica (APV)- Caso tradicional (Suelo)	48
Tabla 8-3 Comparativa estimación coste de capital para potencia nominal 9220kWp/Caso Agrovoltaica (APV)- Caso tradicional (Suelo).	49
Tabla 8-4 Comparativa estimación coste de de operación unitario (€/kWp)/Caso Agrovoltaica (APV)- Caso tradicional (Suelo).	51
Tabla 8-5 Comparativa estimación coste de operación para potencia nominal 9220kWp/Caso Agrovoltaica (APV)- Caso tradicional (Suelo).	52
Tabla 8-6 Comparativa estimación coste total de capital para potencia nominal 9220kWp/Caso Agrovoltaica (APV)- Caso tradicional (Suelo).	53
Tabla 8-7 Comparativa estimación coste de operación y mantenimiento para potencia nominal 9220kWp/Caso Agrovoltaica (APV)- Caso tradicional (Suelo).	53
Tabla 8-8 Datos introductorios.....	54
Tabla 8-9 Cálculo de la energía generada (Datos irradiancia fuente PVGIS interactive Tools).....	54
Tabla 8-10 Coste de Instalación	55
Tabla 8-11 Coste de Mantenimiento	56
Tabla 8-12 Parámetros económicos	56
Tabla 8-13 Parámetros ambientales	56

1. MOTIVACIÓN

El crecimiento constante y el desarrollo de nuevas instalaciones fotovoltaicas han originado un conjunto significativo de investigaciones junto a la generación de tensiones dentro de los diferentes órganos reguladores en relación con el impacto ambiental que supone y en particular en lo concernido a las aves.

Sin embargo, este rápido desarrollo plantea preocupaciones sobre su impacto, siendo motivo y causa de parálisis o rechazo de un proyecto por parte de las diferentes administraciones, se identifica la necesidad de establecer una serie de pautas, así como evaluar alternativas que puedan favorecer la ejecución del proyecto a la misma vez que reducir al máximo el posible impacto ambiental.

1.1. Objetivos

El objeto del presente trabajo consiste en evaluar el impacto de las instalaciones fotovoltaicas en poblaciones de aves esteparias, siendo temática de actualidad, se establece la necesidad de estudiar medidas que impliquen una reducción del posible impacto ambiental. Asimismo, se pretende estudiar las normativas actuales, tanto a nivel nacional como internacional.

Adicionalmente, dentro del ámbito del presente estudio, se busca analizar diferentes estrategias en el diseño, distribución del terreno y distribución de los paneles de cara a minimizar el impacto causado tanto al medio ambiente como el coste de estas alternativas.

1.2. Conservación de la biodiversidad:

Las aves son una parte esencial de los ecosistemas, como elementos de fauna, cumplen funciones importantes como el control de plagas y su contribución en la cadena alimenticia. Por ello, su conservación es necesaria para garantizar la estabilidad de los ecosistemas y el bienestar del resto de especies.

1.2.1. Responsabilidad medioambiental:

Tenemos la obligación y responsabilidad de encontrar soluciones que ayuden a minimizar el impacto sobre el medio ambiente a la vez que permitan seguir evolucionando nuestras tecnologías e instalaciones. El desarrollo de instalaciones de energías renovables son un factor clave en el proceso de transición de cara a promover la riqueza del sistema productivo energético.

1.2.2. Preservación de especies amenazadas:

España contiene una elevada biodiversidad de aves, las cuales muchas de ellas se encuentran en peligro de extinción o en un estado de vulnerabilidad. El desarrollo de instalaciones debe, por tanto, enfocar medidas que mitiguen el riesgo y permitan un equilibrio adecuado entre el desarrollo y su conservación.

1.3. Desarrollo de medidas mitigadoras:

El estudio e implantación de medidas que reduzcan el riesgo y las consecuencias para las especies afectadas pueden desarrollarse con la tecnología y buenas prácticas que reduzcan el impacto.

1.4. Fases del Trabajo

En la siguiente figura se muestran las cuatro fases seguidas para la realización del presente trabajo. La Fase 1 abarca la investigación de la normativa aplicable tanto a nivel nacional como internacional. La Fase 2 se

centra en el análisis de instalaciones que han tenido en cuenta el impacto en las aves. Posteriormente, en la Fase 3, se desarrolla una planta fotovoltaica, acompañado de una evaluación comparativa de estrategias. Finalmente, se culmina con la presentación de conclusiones y recomendaciones.

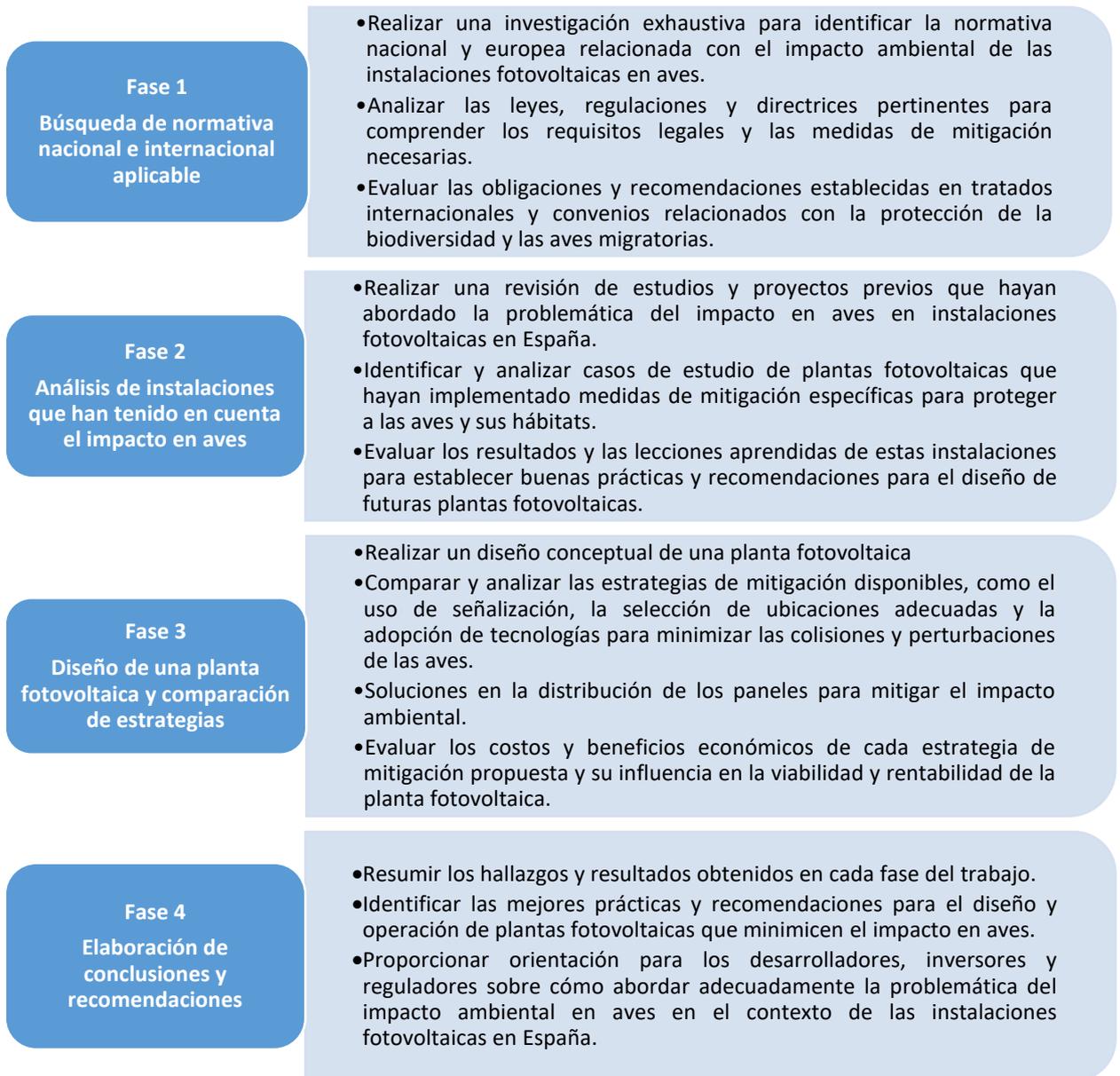


Figura 1-1 Fases del trabajo

2. ESTADO DEL ARTE

2.1. Antecedentes

En las últimas décadas, la preservación de las aves se ha convertido en un tema crucial en el contexto de expansión de las energías renovables y la agricultura. Las aves esteparias siendo un grupo cuya adaptación depende estrechamente al buen estado de su hábitat, ecosistemas de estepas y llanuras, han pasado a ser el foco de atención teniendo en cuenta su vulnerabilidad en cuanto a su conservación y a los riesgos que podrían enfrentar con la expansión de la energía solar.

La intensificación agrícola era seguida de manera cercana debido a su impacto en la pérdida de calidad en los hábitats para las aves esteparias en España. Tanto la fragmentación como la modificación del medio natural han afectado a sus ciclos y etapas vitales.

En los tiempos actuales, el crecimiento de las energías fotovoltaica y solar de concentración añaden una nueva amenaza a estas poblaciones de aves.

A medida que los esfuerzos en el proceso de reducir las emisiones de carbono continúan la necesidad de equilibrar el avance de las energías con los cuidados necesarios en los animales aumenta.

2.2. Definición de Ave Esteparia

Son consideradas aves esteparias a aquellas que utilizan medios esteparios durante la completitud de su ciclo vital. Adicionalmente, exceptuando ciertas especies, nidifican en el suelo o arbustos de pequeño tamaño.

Usualmente habitan en estepas, llanuras abiertas y semiáridas de baja vegetación. Las aves se han adaptado a vivir en estas zonas determinadas por escasez de árboles y usualmente se encuentran ligadas a pastizales, praderas u otras zonas de vegetación.

Suelen tener características desarrolladas para la adaptación en estos entornos como el plumaje críptico que les ayuda a camuflarse, por otro lado, suelen tener patas largas y delgadas para moverse ágilmente.

Algunas especies como la avutarda, el sisón, el aguilucho cenizo, la ganga ibérica, el alcaraván, la terrera común y el alcaudón real, están adaptadas a las zonas esteparias y tienen un rol muy importante como depredadores, dispersores de semillas y polinizadores.

2.3. Estrategia de conservación de aves amenazadas ligadas a medios agro-esteparios en España

La estrategia tiene como objetivo recuperar especies concretas en peligro o sensibles de estarlo para revertir su situación definiendo áreas según criticidad. Propone un conjunto de acciones que incluyen medidas para la gestión de los hábitats. La justificación de la estrategia queda presente en el declive pronunciado que ha presentado en los últimos veinte años las poblaciones de las especies ligadas.

Si bien se centra en un número reducido de especies, tiene especial interés por su contextualización respecto a las amenazas sobre el hábitat y las especies.

Entre las principales especies, existe un especial interés siguiendo la estrategia de conservación de las aves esteparias [1] en las especies nombradas posteriormente:

- Aguilucho cenizo:
- Sisón común
- Ganga ibérica
- Ganga ortega
- Alondra ricotí
- Avutarda común
- Cernícalo primilla

Las amenazas pueden tener factores de índole muy diversa que impactan negativamente tanto en el hábitat de las especies como en la calidad de vida, número de individuos o la pérdida de productividad asociadas a las actividades humanas en el medio natural.

Cabe destacar, según el apartado 8.1.3 de la estrategia de conservación de aves amenazadas ligadas a medios agro-esteparios en España [1]:

“Si durante el desarrollo y ejecución práctica de un proyecto (tras la recepción de la eventual declaración de impacto ambiental y positiva y durante las fases de planificación previa, ejecución del proyecto y funcionamiento) se detectara la presencia de alguna de las especies incluidas en esta Estrategia, que previamente no habían sido detectadas durante el correspondiente estudio ambiental, el promotor deberá realizar un estudio específico adicional de afección para dicha especie en una banda de 5km alrededor del proyecto que permita valorar y reducir los efectos negativos de la implementación de las plantas industriales energéticas.”

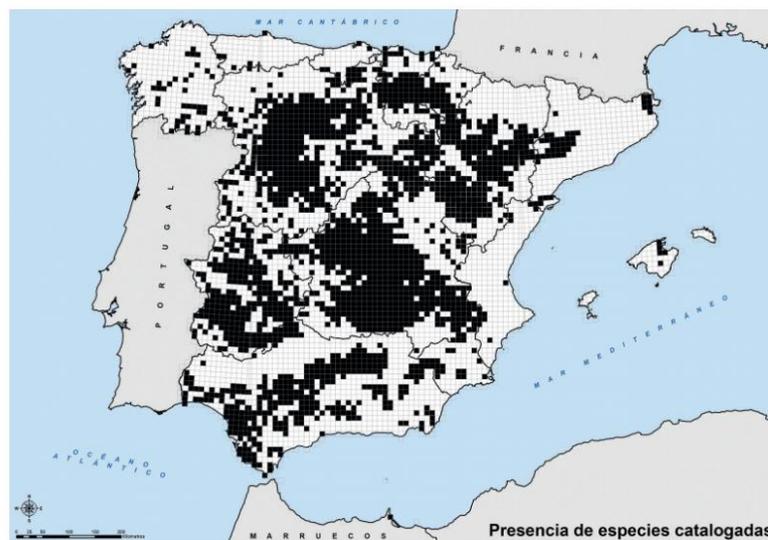


Figura 2-1 Mapa de distribución de las siete especies de aves ligadas a ambientes agro-esteparios consideradas en la Estrategia, durante la época de reproducción [1]

2.4. Factores de Riesgo

A continuación, se detallan los principales factores que entrelazan la expansión de la energía solar y la conservación de las aves:

- Pérdida de superficie, el cambio en la superficie neta de un hábitat afecta directamente a la población de aves esteparias. No obstante, las consecuencias pueden tener mayores efectos como la mortalidad directa o indirecta, diversificación o transformación del entorno.

- Fragmentación del hábitat: Las barreras físicas como las vallas y tendidos eléctricos pueden provocar una pérdida en la conectividad entre terrenos.
- Colisiones: Tanto las estructuras como los cables pueden ser elementos susceptibles impactar a las aves durante su vuelo, estos obstáculos son, por tanto, un elemento que puede aumentar el riesgo de colisiones.
- Alteración visual: Una modificación severa del paisaje puede influir en el comportamiento de las aves. A su vez, podría afectar a su capacidad de cazar y obtener fuentes de alimento.
- Alteración del microclima: El emplazamiento de los paneles solares pueden afectar a las corrientes de viento, plantas y a otros factores indirectos ocasionado por la generación de sombras.
- Cambios en la vegetación: La destrucción de vegetación para el emplazamiento de las instalaciones fotovoltaicas pueden originar un deterioro catastrófico, especialmente para las aves esteparias, influyendo en la disponibilidad de alimento y refugio para las aves.
- Desplazamientos (abandono del hábitat): Tanto la construcción como la operación de instalaciones fotovoltaicas pueden suponer un estrés o causar problemas en las aves, impulsándolas a abandonar el hábitat junto a sus nidos.
- Impacto durante la construcción: Durante la etapa constructiva del proyecto se generarán vibraciones, ruidos y un movimiento mayor de actividad humana que pueden tener un impacto negativo.
- Otros efectos acumulativos.

2.5. Noticias

Se ha analizado determinadas noticias con el propósito de establecer antecedentes significativos que permitan exponer casos concretos en los cuales se ha experimentado rechazo a proyectos similares, así como sondear la percepción pública al respecto

- XELIO (Murcia)

El ministerio para la Transición Ecológica ha rechazado la ejecución de un parque fotovoltaico cuya localización asignada contenía aves rapaces y esteparias protegidas, así como en el área de Sierra Escalona. El proyecto, cuyo promotor queda identificado como X-ELIO, tenía la intención de utilizar una superficie de 237 hectáreas para generar 150 megavatios de potencia [2]. Los estudios ambientales identificaron impactos negativos en las especies amenazadas como la ganga ortega y el aguilucho cenizo. Adicionalmente la construcción de las líneas de transporte atravesaba espacios protegidos para las aves.

Por otro lado, según comenta la noticia, el promotor obtuvo recientemente la aprobación para la ejecución de otro proyecto en Lorca.

- Ecologistas en acción

El aumento en el número de proyectos fotovoltaicos está creando un riesgo para la supervivencia y correcta adaptación de las aves esteparias en la Comunidad de Madrid. Aves como: El sisón, la avutarda, las gangas ibéricas y ortega, el aguilucho cenizo, el aguilucho pálido y la carraca europea, se encuentra en recesión debido a la modificación del hábitat [3].

Las instalaciones en la provincia de Madrid y áreas cercanas se están proyectando en zonas dedicadas a cultivos tradicionales de secano, en los cuales existen poblaciones de las aves mencionadas previamente suponiendo una amenaza para las mismas.

Las aves relacionadas con sistemas agrícolas han sufrido un decremento poblacional en las últimas décadas debido a la alteración de sus respectivos hábitats y la disminución de los recursos dedicados a la agricultura. Se estima que el sisón común ha sufrido una disminución del 76.2% entre el año 1998 y 2017, estando actualmente catalogado en peligro de extinción [3].

Si bien la comunidad de Madrid ha conservado extensiones de secano para albergar a estas especies en amenaza, la falta de reserva de espacios protegidos por parte de la administración pública no es suficiente. El uso del territorio para las instalaciones de energías renovables supone otro riesgo para estas especies de aves ya que requiere de grandes extensiones de terreno de secano.

Actualmente se están tramitando en Madrid 87 proyectos de energías renovables, que afectan a zonas críticas relacionadas con aves esteparias, incluso situándose en zonas protegidas de la Red Natura 2000 [3]. Ecologistas en Acción solicitan que no se apruebe las instalaciones en áreas donde exista presencia confirmada de aves esteparias.

- El Economista

La fotovoltaica tendrá que pagar a los agricultores por cuidar el hábitat de las aves en peligro de extinción. Miteco y CC. AA Exigen a los promotores a destinar tierras de cultivo en las que se realicen prácticas sostenibles. [4]

La noticia comenta que los promotores de nuevas plantas fotovoltaicas tendrán que llegar a acuerdos económicos con agricultores a modo de implementar prácticas sostenibles en tierras de cultivo, dicha medida trata de proteger el hábitat de aves en peligro de extinción como puede ser la avutarda o el sisón.

El Ministerio de Transición Ecológica y las comunidades autónomas están exigiendo la habilitación de estos cultivos favoreciendo un hábitat sostenible para la avifauna. Esta práctica de agricultura sostenible lleva asociada una compensación económica.

Como plan para la conservación de aves esteparias en medios alterados por instalaciones fotovoltaicas, los promotores deben proporcionar tierras de cultivo que ocupen un porcentaje de las áreas de paneles solares y conservarlas como hábitats adecuados para las aves esteparias durante el periodo de vida de la instalación.

Algunas preocupaciones surgen en relación con los requisitos impuestos y la compatibilidad de las medidas con la agricultura tradicional. Negociaciones y pactos deberán surgir entre promotores y agricultores.

- UNEF

Los proyectos de energía solar en suelo son una doble oportunidad para la biodiversidad.[5] En este artículo proporcionado por la UNEF (Unión Española Fotovoltaica) comenta sobre los proyectos de energía solar en el suelo y la contribución que pueden proporcionar a la conservación de la biodiversidad a la vez que generan energía renovable.

El artículo resalta que las tierras utilizadas pueden coexistir con la conservación de la flora y la fauna local si existe una planificación adecuada. La restauración de hábitats, la reforestación y la creación de áreas verdes son buenas prácticas recomendadas. Focaliza que es posible una integración efectiva entre la energía solar y la conservación de los hábitats maximizando los beneficios ambientales en los proyectos.

3. NORMATIVA APLICABLE

3.1. Plan de Ordenación de los Recursos Naturales

Los Planes de Ordenación y Recursos naturales son los instrumentos de planificación utilizados en España a fin de regular y proteger los recursos naturales de cada área específica.

Puede encontrarse la definición completa en el siguiente enlace de la web del ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico:

“Los Planes de Ordenación de los Recursos Naturales son el instrumento específico para la delimitación, tipificación, integración en red y determinación de su relación con el resto del territorio, de los sistemas que integran el patrimonio y los recursos naturales de un determinado ámbito espacial, con independencia de otros instrumentos que pueda establecer la legislación autonómica” [6].

Estos planes de ordenación aplican en áreas protegidas como podrían ser reservas o parques naturales para el aprovechamiento de los recursos de las zonas, así como las medidas necesarias para su conservación y protección a largo plazo. El ministerio junto con la participación de las comunidades autónomas son los encargados de elaborar directrices para la ordenación de los recursos que quedarán ajustados por los planes de ordenación según la ley 42/2007.

Cabe destacar que estos planes se elaboran mediante un proceso participativo en el que diferentes participantes son involucrados como administraciones públicas, organizaciones conservadoras del medio ambiente, empresas y la comunidad local. Están basados en estudios científicos y evaluaciones de los recursos presentes, siendo su implementación una coordinación y colaboración entre diferentes entidades y organismos.

3.2. Nacional

La diversa normativa nacional en España aplicable en cuanto al impacto ambiental de instalaciones fotovoltaicas sobre las aves incluye leyes y regulaciones relacionadas con la preservación de la biodiversidad y recursos naturales:

- Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad: La ley trata de establecer un régimen jurídico básico para el uso sostenible, conservación, mejora y restauración de la biodiversidad española. Indica medidas de protección y criticidad de especies amenazadas en sus hábitats.
- Real Decreto 139/2011, de 4 de febrero: Desarrolla alguno de los contenidos de la Ley 42/2007, de 13 de diciembre. Trata de regular las características, contenido y procedimientos para la inclusión de especies silvestres según su criticidad de amenaza (catálogo español de especies amenazadas). Por otro lado, establece unas directrices de evaluación periódica, así como estrategias de conservación, reintroducción de aves extinguidas, reforzamiento de poblaciones y directrices para la cooperación.

Tiene en cuenta las aves protegidas listándolas en un anexo con su nombre científico, común población referida y Categoría del Catálogo (según criticidad)

- Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de Evaluación Ambiental: Regula el marco normativo para la evaluación del impacto ambiental. Tiene como ámbito de aplicación planes, proyectos y programas incluyendo las instalaciones fotovoltaicas. Impone la evaluación y la adopción de medidas con objeto de mitigar los impactos en el medioambiente.

- Real Decreto 1432/2008, de 29 de agosto, por el que se establecen medidas para la protección de la avifauna contra la colisión y la electrocución en líneas eléctricas de alta tensión.

3.3. Autonómicas

Existen normativas de aplicación autonómica y locales en España, cuya aplicación en el impacto ambiental es determinada por cada órgano competente y su legislación en vigor. Cada organismo tiene competencias para establecer regulaciones y medidas concretas de protección ambiental.

- Ley 8/2003, de 24 de abril, de la Flora y la Fauna Silvestres: La Comunidad Autónoma de Andalucía regula unificando en un único texto legal el régimen jurídico de la flora y la fauna silvestres. Diseña una ordenación de los aprovechamientos naturales de manera equilibrada y orgánica, creando a su vez, una red de centros de conservación, recuperación y reintroducción de especies silvestres.
- Decreto del Consejo de Gobierno de la Región de Murcia 89/2012, de 28 de junio, por el que se establecen normas adicionales aplicables a las instalaciones eléctricas aéreas de alta tensión con objeto de proteger la avifauna y atenuar los impactos ambientales.

3.4. Red Natura y ZEPA

La creación de la Red Natura 2000 es concebida por la Directiva 92/43/CE en relación a la conservación de los hábitats naturales y de flora silvestre. Por otro lado, está vinculado a la Directiva 2009/149/CE con relación a la conservación de las aves silvestres.

Tiene como objetivo la protección de los hábitats y poblaciones silvestres creando zonas especiales de conservación e incluyendo zonas de protección designadas.

Su anexo IV especifica las especies de fauna y flora de interés comunitarios que necesitan una protección especial.

La red Natura 2000 se encuentra compuesta por:

- Lugares de Importancia Comunitaria (LIC): Los LIC son áreas que contienen hábitats naturales o especies de interés comunitario
- Zonas de conservación (ZEC): Establecidas oficialmente por los Estados miembros de la UE para la conservación de hábitats y especies específicas
- ZEPA: Zonas designadas para la protección de aves silvestres y sus hábitats

Administración competente	LIC		ZEPA		NATURA 2000			
	Número	Superficie total (km ²)	Número	Superficie total (km ²)	Número total de espacios	Superficie total (km ²)	Superficie terrestre (km ²)	Superficie marina (km ²)
Andalucía	190	25.822	63	16.653	197	26.558	26.126	432
Aragón	156	10.466	49	8.730	199	13.616	13.616	0
Canarias	153	2.905	45	2.850	186	3.645	3.512	133
Cantabria	21	1.377	8	791	29	1.477	1.459	19
Castilla y León	120	18.954	70	20.013	177	24.641	24.641	0
Castilla-La Mancha	73	16.368	39	16.333	83	18.362	18.362	0
Cataluña	115	10.492	73	9.157	123	10.726	9.867	859
Ciudad de Ceuta	2	6	2	6	3	6	6	0
Ciudad de Melilla	2	0,9	0	0	2	0,9	0,5	0,4
Comunidad Foral de Navarra	42	2.809	17	864	49	2.810	2.810	0
Comunidad de Madrid	7	3.194	7	1.854	14	3.194	3.194	0
Comunitat Valenciana	93	6.390	40	7.550	127	8.991	8.813	179
Extremadura	89	9.338	71	11.024	151	12.639	12.639	0
Galicia	59	3.759	16	1.017	73	3.911	3.554	357
Illes Balears	138	2.028	65	1.513	169	2.313	1.249	1.064
La Rioja	6	1.799	6	1.799	6	1.799	1.799	0
País Vasco	51	1.466	7	421	54	1.520	1.506	14
Principado de Asturias	49	3.055	13	2.400	53	3.058	2.861	198
Región de Murcia	49	1.949	24	2.067	71	2.940	2.667	273
AGE (OAPN y espacios marinos)	53	51.668	47	49.704	93	81.838	5	81.834

Figura 3-1 Número y superficie (en km²) de espacios LIC, ZEPA y totales (LIC y ZEPA) de la Red Natura 2000 por administración competente [7].

La ocupación del territorio por instalaciones de energías renovables puede ser de afectación para estas zonas poniendo en riesgo determinadas especies, por ello, cabe destacar la necesidad de evaluar minuciosamente los impactos ambientales sobre las especies en dichas áreas, ya que podrían afectar negativamente en el contexto de los ecosistemas. Adicionalmente, en la siguiente figura se presenta el mapa de la red natura en España.

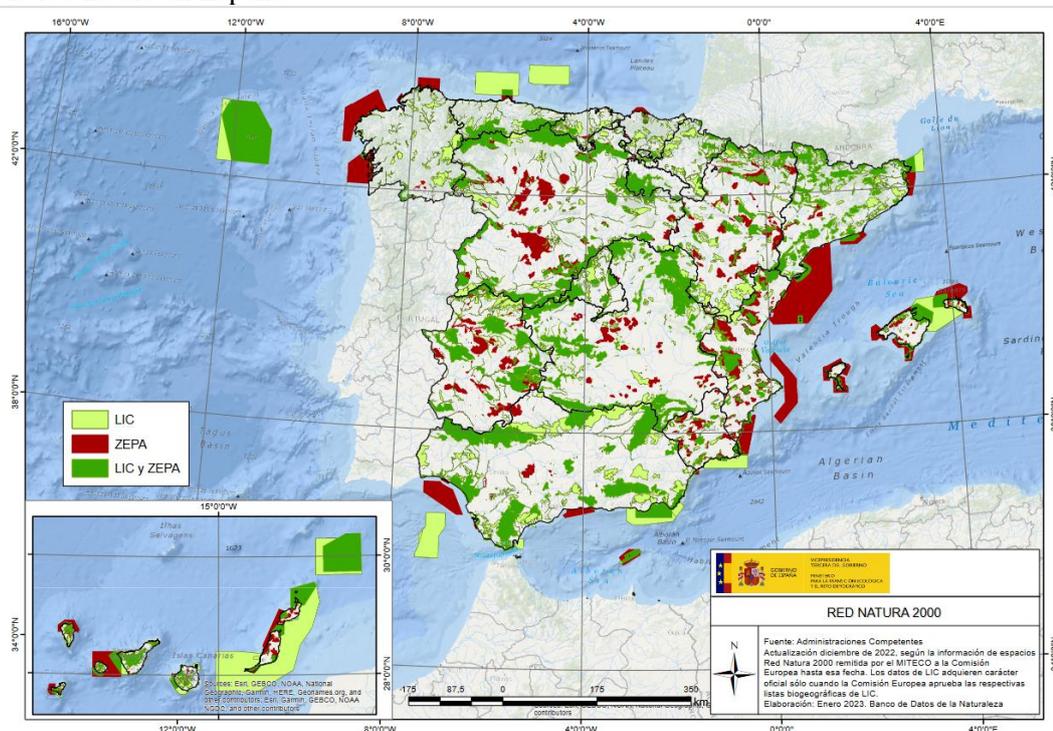


Figura 3-2 Mapa de la Red Natura en España (actualización de 2022) [8].

3.5. Internacional

- Directiva 92/43/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1992, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres.
- Directivas del Consejo 79/409 CEE, relativa a la conservación de las aves silvestres y del artículo 12 de la Directiva 2009/147/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de noviembre de 2009
- Convenio sobre conservación de las aves migratorias de la fauna silvestre: Convenio de Bonn.

Busca como objetivo la preservación de las especies migratorias de la fauna silvestre de forma mundial. Se celebra en nombre de la CEE (UE)

Destacan la importancia de la conservación y protección de las especies y hace énfasis en preservar aquellas que estén o puedan evitar que se encuentren amenazadas.

- Directiva de Aves (Directiva 2009/147/CE): Directiva de la UE que establece medidas para la preservación de las aves silvestres en Europa, trata de proteger a todas las especies nativas y migratorias. Regula la designación de áreas de especial protección (ZEPA) estableciendo requisitos para la evaluación de impacto ambiental en los proyectos que puedan suponer afectación para las mismas.
- Directiva de Hábitats (Directiva 92/43/CEE): Directiva de la UE, busca la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres dentro de la zona europea.
- Norma DIN alemana SPEC 91434: Estándar para agro-voltaicos, tiene como objetivo establecer los requerimientos para el uso primario de la agricultura para asegurar la calidad de los agrovoltaicos.

3.6. Evaluación del impacto ambiental de un proyecto en el ámbito nacional

La evaluación del impacto ambiental en relación con un proyecto de ámbito nacional queda regulada por la legislación vigente estatal, normativas autonómicas y locales correspondientes.

Posteriormente, se detallan los documentos y pautas que suelen requerirse para llevar a cabo la evaluación:

- Estudio de Impacto Ambiental (EsIA): Es el documento técnico cuya función es evaluar los efectos y consecuencias sobre los posibles efectos ambientales de un proyecto. Se realiza en una evaluación de impacto ambiental siendo requisito indispensable para la realización de un proyecto de cierta envergadura.

Se encuentra regulado por la Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de Evaluación Ambiental. Está compuesto por los siguientes objetivos:

- Identificar los impactos ambientales
- Proponer medidas correctoras o vías alternativas para compensar o mitigar los efectos.
- Potenciar los efectos positivos.

- Memoria Ambiental: Informe de menor envergadura que el (EsIA), presenta una evaluación de los impactos y las medidas mitigadoras.
- Plan de Vigilancia Ambiental: Documento que recoge las acciones de seguimiento con objeto de controlar que se realizarán a lo largo de la ejecución del proyecto. Incluye acciones para su futura operación para asegurar el cumplimiento de las medidas mitigadoras propuestas.
- Consultas y participación pública: Son un papel fundamental de cara a garantizar que se tiene en cuenta las preocupaciones y opiniones de las partes interesadas, debiendo estar incluidas comunidades locales y grupos de ecologistas.
- Informe de Impacto Ambiental (IIA): Emitido por la autoridad competente, es un informe de impacto ambiental, que tiene como principal objetivo proporcionar información analizada sobre las consecuencias del proyecto para los ecosistemas.

4. INFORME IMPACTO AMBIENTAL

La Ley 21/2013 establece la regulación para la elaboración del informe de impacto ambiental. Es un documento que evalúa y establece los efectos significativos que tiene un proyecto o actividad sobre el medio ambiente.

Realizar un estudio previo exhaustivo sobre el impacto ambiental es un aspecto crítico con objeto de conocer el alcance, medidas de mitigación y posibles afectaciones sobre las aves esteparias. Estos estudios ayudan a identificar estrategias para hacer frente a los puntos negativos sobre las aves de la manera más eficiente posible garantizando la coexistencia de la fauna con las instalaciones fotovoltaicas.

Este informe tiene como objetivo identificar información detallada sobre todo lo relevante respecto al medio ambiente, los impactos y las medidas preventivas o correctivas.

El contenido puede variar en función de la naturaleza y el alcance del proyecto, aunque debe incluir de manera general los siguientes elementos:

- Descripción del proyecto: Se proporciona detalles sobre ubicación, naturaleza, dimensiones y otras características del proyecto. También en las fases de construcción, operación y final de la vida útil o desmantelamiento.
- Caracterización del medio ambiente: Se desarrollará una descripción profunda sobre los elementos ambientes con relevancia, como el suelo, hidrología, paisaje, clima y otros factores socioeconómicos.
- Fase de identificación y evaluación de los impactos: Se tienen que identificar las posibles consecuencias del proyecto en los diferentes factores medioambientales, evaluando su magnitud, alcance, duración y probabilidad.
- Medidas preventivas y correctivas: Se realizarán propuestas de medidas con objeto de evitar, minimizar o en su defecto, compensar los impactos identificados. Las medidas deben ser técnicamente factibles y económicamente viables.
- Programa de vigilancia ambiental: Se establecerá un programa con carácter de monitorización y de cara a evaluar la eficiencia de las medidas propuestas, garantizando el cumplimiento de las condiciones proporcionadas en el informe de la autoridad ambiental correspondiente.
- Se resumirán los aspectos o hallazgos más importantes del informe de fácil entendimiento para un público general.

- Debe ser elaborado por el promotor del proyecto y será sometido a consultas y participación pública. A su vez, será evaluado por las autoridades ambientales competentes. La ley establece plazos y procedimientos para estos procesos de consulta.

5. ANÁLISIS DE CASOS

En este apartado se expondrán casos concretos de proyectos de instalaciones fotovoltaicas en los que se ha dado problemáticas en cuanto al impacto en aves esteparias. Se pretende que estos ejemplos no sólo ilustren la aplicación real de medidas mitigadoras, sino que también resalta la visibilidad y la comunicación positiva entre las diferentes partes interesadas dando resultados satisfactorios.

Se podrá apreciar como una cuidadosa planificación supone una facilitación de la adaptación de las instalaciones para que puedan conseguir una correcta integración con las aves esteparias sin comprometer en mayor medida la viabilidad del proyecto o la eficiencia de la instalación. Posteriormente, se presentará una tabla resumen con comentarios extraídos de cada proyecto, tanto en las resoluciones como en los propios proyectos de impacto ambiental.

5.1. Proyectos

5.1.1. Plantas fotovoltaicas Centaurus IV, de 119 MWp y 74,22 MWn, Centaurus V, de 119 MWp y 74,22 MWn, y Centaurus VI, de 119,75 MWp y 74,22 MWn

5.1.1.1. Resolución

Resolución de 18 de mayo de 2022, de la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental, por la que se formula declaración de impacto ambiental del proyecto «Plantas fotovoltaicas Centaurus IV, de 119 MWp y 74,22 MWn, Centaurus V, de 119 MWp y 74,22 MWn, y Centaurus VI, de 119,75 MWp y 74,22 MWn, y su infraestructura de evacuación, en la provincia de Zaragoza» [9].

5.1.1.2. Impacto en la fauna

El proyecto supone un impacto significativo en la fauna, especialmente en las aves esteparias. Este impacto es más profundo durante la etapa de construcción y operación ya que se ocuparán grandes áreas de terrenos de cultivo que forman parte del hábitat de estas especies.

Se menciona una posible afectación a los hábitats, comentando sobre la pérdida y fragmentación de éstos. El propio informe menciona la necesidad de establecer medidas correctoras.

Llevando a cabo estudios y en colaboración con SEO BirdLife se ha detectado presencia de aves esteparias como:

- Cernícalo primilla (*Falco naumanni*)
- Sisón (*Tetrax tetrax*)
- Ganga ibérica (*Pterocles alchata*)
- Ganga ortega (*Pterocles orientalis*)
- Avutarda común (*Otis tarda*)

Por otro lado, se estima que el proyecto puede afectar a las rutas de vuelos de aves necrófagas como el buitre leonado y el alimoche, hacia comederos regulados en áreas cercanas.

Adicionalmente es mencionado en la resolución anterior:

“Destacan por su estatus de protección o grado de amenaza la avutarda (Otis tarda), en peligro de extinción en Aragón, el milano real (Milvus milvus) en peligro de extinción, el cernícalo primilla (Falco naumanni) sensible a la alteración de su hábitat en Aragón, y aguilucho cenizo (Circus pygargus), chova piquirroja (Pyrhocorax pyrhocorax), ganga ibérica (Pterocles alchata), ganga ortega (Pterocles orientalis) y sisón (Tetrax tetrax) catalogadas como vulnerables” [9].

5.1.2. Lorca Solar de 386,22 MWp (X-ELIO)

5.1.2.1. Resolución

Resolución de 20 de diciembre de 2022, de la Dirección General de Política Energética y Minas, por la que se otorga a X-Elio Andaltia Murcia, SL, la autorización administrativa previa, para la instalación fotovoltaica Lorca Solar de 386,22 MWp y 339,1 MW de potencia instalada, la subestación eléctrica 30/132 kV, la línea aérea-subterránea a 132 kV, la subestación eléctrica 132/400 kV y la línea a 400 kV para evacuación de energía eléctrica, en Lorca y Totana (Murcia) [10].

Resolución de 20 de septiembre de 2022, de la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental, por la que se formula declaración de impacto ambiental del proyecto Instalación Fotovoltaica Lorca Solar de 339,075 MW de potencia nominal y su infraestructura de evacuación, en los términos municipales de Totana y Lorca (Murcia) [11].

Adicionalmente se ha tenido en cuenta el Estudio Impacto Ambiental como fuente de información: [12]

5.1.2.2. Impacto en la fauna

Se detectan aves esteparias y rapaces forestales y rupícolas. Fue detectado un ejemplar de sisón común en abril de 2019.

Tal y como menciona la resolución anterior en el apartado b.3) Fauna:

“Además, el promotor identifica colonias de nidificación de cernícalo primilla en varias edificaciones de la zona de estudio (Casas de Cazorla, Casas de Puerto Banco, Casa de Los Villares y Casa de Jofré). En el entorno de la línea eléctrica, se detectan, entre otras, buitre leonado, búho real, águila culebrera, águila real, aguilucho lagunero, cernícalo primilla, chova piquirroja, halcón peregrino y carraca europea. Se detectan especies esteparias en el tramo inicial y final ya que son zonas de alta riqueza de este tipo de especies (zona de Zarcilla de Ramos y zona de Saladares de Guadalentín). Su trazado cruza áreas de nidificación de rapaces rupícolas al principio de su recorrido y una zona de recuperación y área crítica del águila perdicera al sur del LIC «Sierra de la Tercia» que se encuadra dentro del Plan de Recuperación de esta especie.

El Catálogo de Especies Amenazadas de la Región de Murcia considera de interés especial, al águila real, águila culebrera, carraca europea, halcón peregrino y chova piquirroja; vulnerables (también contenidas en esta categoría en el Catálogo Español de Especies Amenazadas), al aguilucho cenizo, ganga ortega y sisón común; extinto como reproductor, al aguilucho lagunero occidental y buitre leonado; y en peligro de extinción, al cernícalo primilla.

El EsIA señala que la planta se localiza en un área prioritaria para las aves según el Real Decreto 1432/2008, de 29 de agosto, por el que se establecen medidas para la protección de la avifauna

contra la colisión y la electrocución en líneas eléctricas de alta tensión, mientras que la línea de evacuación atraviesa dos de estas áreas en su tramo intermedio y final. Además, el tramo final de la línea coincide con la IBA número 175 «Saladares del Guadalentín» y atraviesa tres corredores ecológicos: el corredor número 35 (durante 8,4 km), el corredor número F10 (durante 260 m) y el corredor número 37 (durante 1,3 km).

Por otro lado, la línea de evacuación cruza zonas de alta probabilidad de presencia de la tortuga mora. Esta especie no ha sido detectada en la zona de implantación de la planta.

Entre los impactos generados por el proyecto sobre la fauna durante la fase de obras, el EsIA incluye el ruido y molestias debidos al trasiego de la maquinaria y la presencia humana. La construcción de los apoyos de la línea de evacuación puede suponer una alteración del hábitat de la tortuga mora, pero no se considera significativo ya que la pérdida de superficie es mínima. Durante la fase de explotación, se alterarán los hábitat y se reducirá el área de reproducción y campeo debido a la implantación de las instalaciones (especialmente la avifauna esteparia y las rapaces nidificantes en las zonas aledañas); el vallado generará un riesgo de colisión para la avifauna y una reducción de la conectividad ecológica; la presencia de la línea provocará, en la avifauna, un riesgo de colisión y electrocución y un efecto barrera a sus movimientos en un eje norte-sur, sobre todo en el entorno de espacios naturales protegidos y Red Natura 2000. El promotor no considera significativo el efecto barrera generado por la línea ya que, en los tramos aéreos, la única barrera serían los apoyos” [11].

5.1.3. Herrera

5.1.3.1. Resolución:

Resolución de 9 de agosto de 2022, de la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental, por la que se formula declaración de impacto ambiental del proyecto «Parque solar fotovoltaico 'FV Herrera Solar I' de 51 MWp/40 MWn, y su infraestructura de evacuación, en Páramo de Boedo y Herrera de Pisuerga (Palencia)» [13].

5.1.3.2. Impacto en la fauna

Según indica el apartado b.1 de la resolución:

“Fauna: de acuerdo con el estudio de avifauna, la construcción de la planta sobre terrenos agrícolas supondrá un efecto negativo sobre el hábitat de campeo, alimentación y cría de numerosas especies, especialmente esteparias. Entre las especies potencialmente afectadas, figuran algunas amenazadas como el milano real (*Milvus milvus*) o el aguilucho cenizo (*Circus pygargus*) catalogadas como «En Peligro de extinción» y «Vulnerable» respectivamente en el Catálogo Español de Especies Amenazadas (en adelante CEEA) aprobado por el Real Decreto 139/2011, de 4 de febrero, la terrera común (*Calandrella brachydactyla*), la bisbita campestre (*Anthus campestris*) o el alcaudón dorsirrojo (*Lanius collurio*), entre otras” [13].

5.1.3.3. Medidas tomadas

Entre otras medidas recogidas en el EsIA, destaca en la prensa el siguiente titular:

“Una empresa proyecta una planta solar en Herrera que acogerá nidos para aves esteparias”

Medida: *“se instalará 21 cajas nidos para aves esteparias, cinco posaderos para rapaces y tres refugios para murciélagos. Además, se colocará una pantalla vegetal en la que se plantarán especies autóctonas y un vallado que permitirá el paso de la fauna”* [14].

5.1.4. Comparativa

(Información obtenida de las resoluciones y otras referencias nombradas previamente [9]–[11], [13], [14])

Tabla 5-1

	Centaurus	Lorca Solar	Herrera
Especies Aves Afectadas	<ul style="list-style-type: none"> - Cernícalo primilla - Sisón común - Ganga ibérica - Ganga ortega - Avutarda común 	<ul style="list-style-type: none"> - Águila real - Águila culebrera - Carraca europea - Halcón peregrino - Chova piquirroja - Aguilucho cenizo - Ganga ortega - Sisón común - Aguilucho lagunero occidental - Buitre leonado - Cernícalo primilla. 	<ul style="list-style-type: none"> - Milano real - Aguilucho cenizo - Terrera común - Bisbita campestre - Alcaudón dorsirrojo
Impacto	<ul style="list-style-type: none"> - Ocupación de grandes áreas de terrenos de cultivo que forman parte del hábitat de estas especies. 	<ul style="list-style-type: none"> - Nidificación en varias edificaciones de la zona de estudio - Especies en el tramo inicial y final - Afectación al área crítica del águila perdicera al sur del LIC «Sierra de la Tercia» 	<p>No supondrá una afección a la integridad de las aves con mayor grado de interés presentes en el área de actuación.</p>
Factores de Riesgo	<ul style="list-style-type: none"> - Ruido y molestias debidos al movimiento de la maquinaria, afectación por influencia humana - Alteración de hábitats, se reducirá el área de reproducción y campeo - Reducción de la conectividad ecológica la presencia de la línea - Riesgo de colisión - Riesgo de electrocución 		

<p>Medidas tomadas sobre la fauna</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Separación entre líneas de seguidores entre 11-12 metros, originando corredores biológicos en el interior de la instalación - Tratamiento anti-reflectante de placas solares. - Mantenimiento de la vegetación natural preexistente. - Cultivar en las zonas interiores de las plantas fotovoltaicas que no vaya a presentar ocupación para favorecer la vegetación y reproducción de insectos - Siembra de leguminosa (alfalfa) y abandono dirigido en áreas cultivadas. - Durante la ejecución de la obra, se dejarán áreas de cereal sin cosechar o retrasar la cosecha hasta el 30 de junio. - Prohibición de herbicidas, uso de ganado - Mantener las parideras existentes. - Área de exclusión - Configuración de la subestación eléctrica SET Magallón en formato abierto de cara a facilitar un espacio para dormir para el cernícalo primilla, descartando un modelo blindado. - Establecer áreas de protección y exclusión en dormideros, en caso de ser identificado como ocupante el cernícalo primilla. - Conservar las áreas de cultivo de secano (hábitat del cernícalo primilla) - Construir al menos un primillar en las proximidades. - Construir nidos artificiales 	<ul style="list-style-type: none"> - Estudio de identificación previo de las especies amenazadas - Evitar trabajos nocturnos - No molestar de ninguna manera a los animales - Minimizar cualquier efecto en las aves durante el periodo de reproducción - Informar a los trabajadores de la importancia respecto a los valores naturales - Restauración de terrenos libres - No se transformará la zona cercana a la nidificación del cernícalo primilla - Diseñar programa de conservación y reforzamiento específico. - Cumplir las medidas de anti electrocución según normativa (Real Decreto 1432/2008, de 29 de agosto) - Balizar los vanos que atraviesen ZEPA - Se requiere un mantenimiento adecuado de los elementos anticolidión - Limpiar las bajas de animales para evitar atraer a las aves carroñeras - Para disminuir el denominado efecto barrera el vallado se corresponderá siguiendo diseño específico. - Se informará del órgano ambiental correspondiente de forma inmediata de cualquier incidente - Crear un punto de aporte de agua 	<ul style="list-style-type: none"> - Cajas nidos para aves esteparias - Establecer una compensación de hábitat para la avifauna esteparia - Adenda plan preliminar de medidas agroambientales para la mejora del hábitat de la avifauna esteparia como media compensatoria - Superficie de terreno compensatoria según guía metodológica - Línea de evacuación soterrada
--	---	--	---

		<ul style="list-style-type: none">- No alterar la vegetación natural bajo los paneles, controlar la cota mediante ganado o maquinaria- Prohibir el uso de herbicidas.	
--	--	--	--

6. RECOPIACIÓN MEDIDAS TRADICIONALES TOMADAS

A continuación, se presentan medidas asociadas a los factores de riesgo que han sido incluidas en propuestas en diferentes proyectos tanto en las resoluciones, normativas y en los informes de estudio de impacto ambiental.

Factor de riesgo en lo referido a la modificación del hábitat:

- Medida preventiva: Es importante tener en cuenta la modificación del hábitat para las presas o alimentos de las aves.
- Medida correctiva: Mantener o conservar las áreas de vegetación nativa son refugio y alimento para insectos u otros animales presa.
- Medida correctiva: Puede favorecerse la comodidad y seguridad de las poblaciones de aves esteparias instalando nidos en ubicaciones seguras dentro de la planta fotovoltaica. Ejemplo:



Figura 6-1 Muestra de soportes de módulos fotovoltaicos que sirven para anidación de aves [15].

Factor de riesgo fragmentación del hábitat (barreras físicas):

- Medida preventiva: Este fenómeno puede reducirse optimizando el diseño y reduciendo las barreras. A su vez, es posible diseñar pasillos de vuelos o pasarelas elevadas para permitir el movimiento de las aves.
- Recomendación Diseño del vallado:
 - En la medida de lo posible se tratará de priorizar la señalización del vallado mediante el uso de pantallas vegetales acorde respetando el paisaje del área.
 - Respecto al vallado perimetral, se utilizará malla cinegética con luz de malla superior a 15cm.
 - De cara a permitir que pequeños vertebrados puedan pasar por su inferior, no se enterrará el mallado y se evitará la cimentación de bloque hormigonado con intención de permitir excavaciones de pasos por pequeños mamíferos.
 - Es de vital importancia evitar el uso y presencia de cualquier elemento con capacidad punzante o alambre de espino.

La estrategia de conservación de aves amenazadas ligadas a medios agro-esteparios en España, proponen un modelo de vallado esquemático en el apartado 8.2.6.

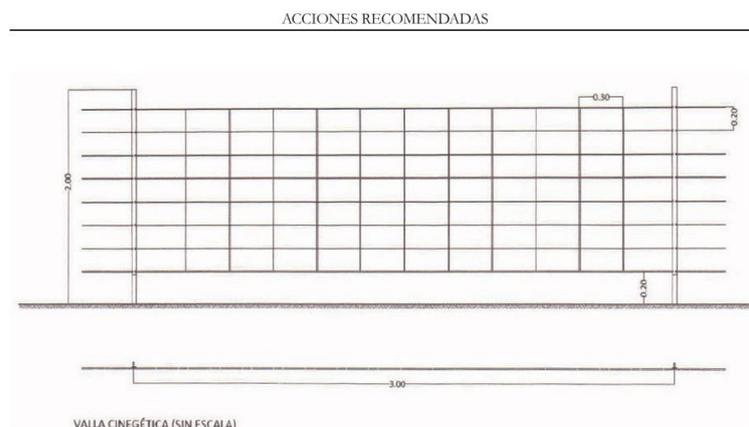


Figura 6-2 Modelo propuesto de vallado [1].

- Factor de riesgo Ruido:
 - Dotar a las maquinarias de elementos amortiguadores, silenciadores y similares.
 - Asegurar que las máquinas se encuentran dotadas de un mantenimiento adecuado y su correspondiente revisión legal.
 - Realizar las tareas con mayor nivel de ruido en periodo diurno.
 - No realizar las tareas susceptibles a generar mayor nivel de ruido en épocas críticas para las aves respetando los ciclos reproductivos.

- Factor de riesgo Contaminación atmosférica:
 - Uso de catalizadores en sistemas de combustión, utilizar combustibles con bajo contenido en azufre. En la medida de lo posible utilizar maquinaria eléctrica/neumática.
 - Utilizar medidas para reducir o evitar la emisión de partículas al ambiente, como podría ser regar el terreno. La generación de polvo puede afectar

- Factores riesgo medio físico
 - Con anterioridad al inicio de las obras se presentará un informe preliminar de situación del suelo tal y como establece el Real Decreto 9/2005, de 14 de enero. Este decreto establece e identifica las actividades con potencial de contaminar el suelo.
 - Sin autorización en ningún caso se verterán tierras o cualquier otro elemento líquido o sólido procedente de obras.
 - serlos movimientos de tierras, se esparcirán por el terreno nivelando en relación con la topografía del terreno. En caso de no ser posible, los restos se desplazarán a un vertedero autorizado.
 - Los escombros se acumularán en una zona determinada cercana al parque de maquinaria y posteriormente se desplazará a un vertedero con autorización pertinente.
 - Una vez la instalación termine su vida útil y sea desmontada, el terreno se removerá para eliminar compactación de cara a promover el crecimiento de nueva vegetación.
 - Se reservará un lugar específico de trabajo para realizar el mantenimiento de las máquinas, el acopio de materiales y cualquier actividad auxiliar. Esta área deberá ser recogida y restaurada una vez finalizada la obra.

- Se establecerán canales auxiliares durante la obra para los caminos de acceso que deben ser capaces de canalizar el agua.
- El almacenamiento de líquidos contaminados se hará en bidones siguiendo la normativa correspondiente a cada producto.
- Se evitará la producción de hormigón en el área de obra
- Se respetará una distancia de al menos 25m a los apoyos de los cauces o 1.5 veces la media altura libre del apoyo, aplicando la más restrictiva.
- Debe evitarse pinturas con contenido en plomo

Factor de riesgo flora:

- Evitar aplicar herbicidas o pesticidas en el área
- La construcción de caminos tratará de realizarse en zona de baja vegetación.
- Antes del inicio de la obra se descubrirán mediante un análisis y señalizará limitando los árboles monumentales. En caso de que sea necesario eliminarlo, se desplazará trasplantándolo a otra posición adecuada para su adaptación.

Factor de riesgo colisiones:

- Medida preventiva: Es recomendable evaluar el riesgo de colisiones e implementar medidas de identificación visual, colocar señalización o patrones en zonas propensas como vallas o paneles para hacerlos visible desde la distancia durante el vuelo nocturno.
- Medida correctiva: Monitorizar, registrar y comunicar las colisiones de aves para evaluar la situación correctamente

Línea eléctrica de evacuación:

Se aplicarán las medidas y criterios de diseños establecidos en Decreto del Consejo de Gobierno de la Región de Murcia 89/2012, de 28 de junio,

Asimismo, para líneas aéreas de alta tensión en zonas de protección aplicaría el *“Real Decreto 1432/2008, de 29 de agosto, por el que se establecen medidas para la protección de la avifauna contra la colisión y la electrocución en líneas eléctricas de alta tensión.”*

Las medidas de prevención contra electrocución y colisión vienen dadas en los artículos 6 y 7 respectivamente.

- Factor alteración Red Natura 2000:
 - Se tratará de estudiar el impacto ambiental en cualquier ámbito. No obstante, el órgano competente ejecutará una evaluación aportando en la evaluación un estudio de impacto sobre la misma.
- Factor incendios:

Según está establecido por la normativa, se tendrán en cuenta las medidas y exigencias incluidas en el Real Decreto 223/2008, de 15 de febrero

Factor de riesgo alteración del Paisaje:

- Evitar en la medida de lo posible el uso excesivo de hormigón
- Las partes metálicas deberán pintarse en tonos grises y mates con la cualidad de reducir los reflejos, evitando el uso de pinturas plásticas.
- Iluminación:
 - o Es de aplicación el Real Decreto 1890/2008, de 14 de noviembre, instrucciones complementarias EA-01 a EA-07.
 - o Se recomienda instalar lámparas que emitan una luz cuya longitud de onda sea superior a 440nm.
 - o Utilizar un uso de iluminación nocturna lo más reducido posible.
 - o Se procurará que la luminaria no disperse el haz luminoso, tratando de enfocarse hacia la zona inferior.

7. APV (Agro-voltaica)

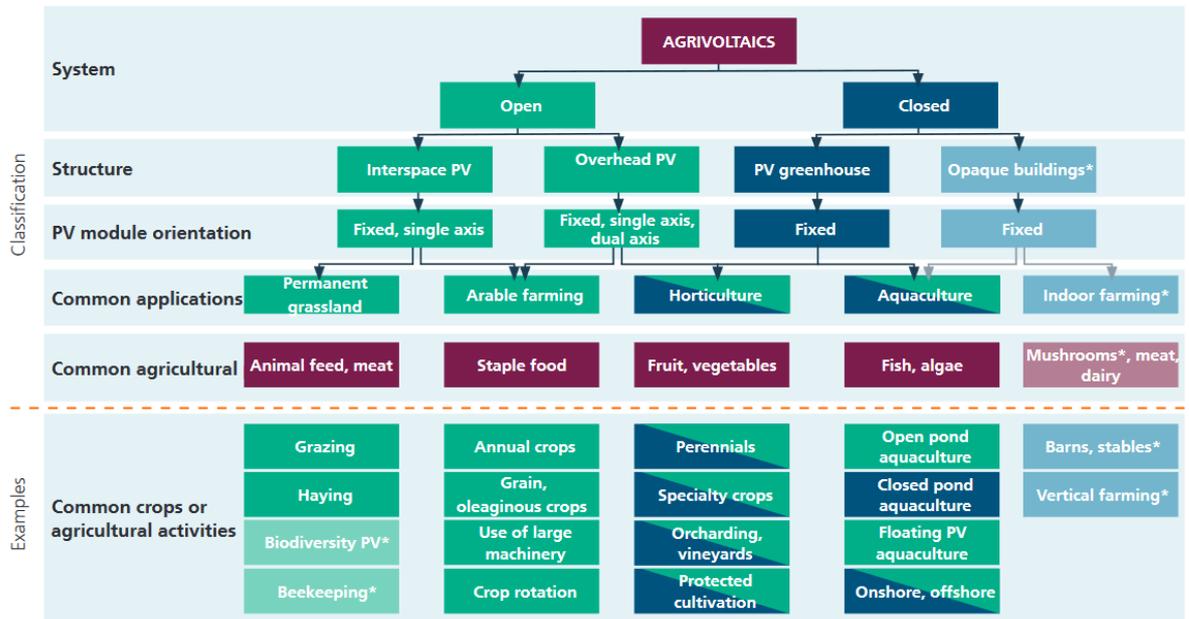
7.1. Introducción:

El desarrollo e innovación de tecnologías que permitan aprovechar el uso del suelo, disminuyendo la afectación e impacto de las instalaciones fotovoltaicas, tanto en los ecosistemas como en la disponibilidad de la tierra son claves para una transición hacia las energías limpias y sostenibles.

Los sistemas agro-voltaicos permiten el doble uso de la tierra facilitando la integración de módulos fotovoltaicos en las actividades ganaderas. Por otro lado, pueden facilitar la agricultura al promover sombras controladas y contribuir a vitalizar económicamente el sector.

El diseño de estos sistemas puede tener configuraciones distintas con objeto de optimizar la producción entre los dos usos coordinados (fotovoltaico y sector agricultura).

Esta solución puede plantearse como una medida mitigadora de cara a reducir efectos en los proyectos de instalaciones fotovoltaicas en las aves, especialmente en las esteparias al requerir de una vegetación típica local y/o cultivos agrícolas.



*No agrivoltaic application in the strictest sense

Figura 7-1 Clasificación de sistemas agro-voltaicos [16]

La normativa alemana especifica una categorización de los sistemas agro-voltaicos:

Tabla 7-1 Categorización de os sistemas Agro-voltaicos según DIN SPEC 91434 [17].

Agri-voltaic systems	Use	Examples
Category I: Elevation with vertical clearance >2.1 m Farming under PV modules	1A: Permanent and perennial crops	Fruit growing, soft fruit growing, viticulture, hops
	1B: Annual and perennial crops	Arable crops, vegetable crops, rotational grassland, arable forage
	1C: Permanent grassland for mowing	Intensive farm grassland, extensively used grassland
	1D: Permanent grassland with pasture use	Permanent pasture, portion pasture (e.g., cattle, poultry, sheep, pigs, and goats)
Category II: Elevation with vertical clearance <2.1 m Farming between PV Modules	2A: Permanent and perennial crops	Fruit growing, soft fruit growing, viticulture, hops
	2B: Annual and perennial crops	Arable crops, vegetable crops, rotational grassland, arable forage
	2C: Permanent grassland for mowing	Intensive farm grassland, extensively used grassland
	2D: Permanent grassland with pasture use	Permanent pasture, portion pasture (e.g., cattle, poultry, sheep, pigs, and goats)

Estos diseños tratan de optimizar la necesidad intrínseca del espacio entre placas (distancia mínima de sombra) y la altura requerida o implementada en los módulos. En función de las distancias lograremos el objetivo de radiación exigido para lograr la correcta relación entre la irradiación requerida por las plantas y las placas solares.

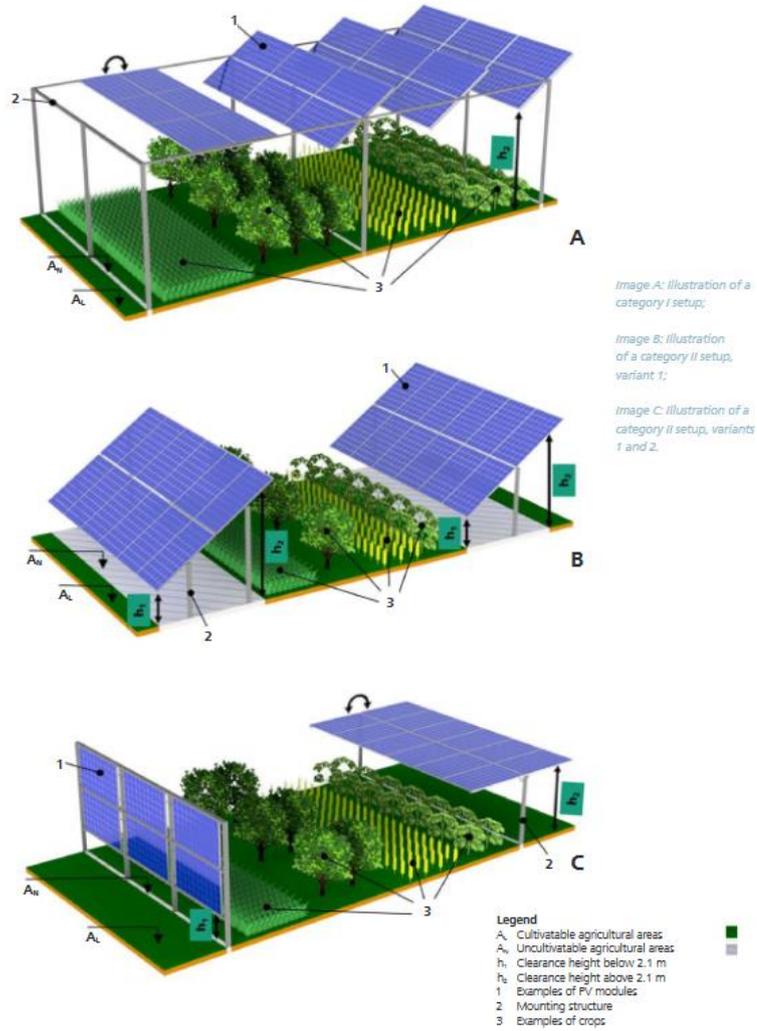


Figura 7-2 Ilustración de las categorías y formas de uso del suelo según DIN SPEC 91434 [16].



Figura 7-3 Esquema de configuraciones de sistemas agrovoltaicos [18].

7.2. Agro-voltaica y la mitigación factores de Riesgo

Las instalaciones compuestas por placas solares elevadas sobre el suelo se pueden proponer como una posible solución para reducir el efecto negativo sobre las aves esteparias. Esta tipología de instalación tiene la capacidad de mitigar los principales factores de riesgo comentados de manera previa:

- Colisiones: Elevando los paneles solares y las estructuras de soporte, reducimos la posibilidad de impacto durante el vuelo bajo de las aves, a su vez, facilitamos la vida y nidificación bajo en sus estructuras.
- Cambios en el hábitat: Las instalaciones están diseñadas para ocupar de manera conjunta espacios ya dedicados a la agricultura de manera que trata de mantener al hábitat tal y como se encontraba. Por tanto, genera un impacto prácticamente insignificante comparando con las instalaciones fotovoltaicas tradicionales.
- Barreras físicas: Instalando las placas en altura minimizamos la creación de barreras físicas en el suelo, permitiendo que las aves y sus presas sigan desplazándose en las áreas de nidificación.
- Modificación en la disponibilidad de sus presas: La conservación de la vegetación natural o de cultivo en la zona inferior de las estructuras permite mantener los insectos y pequeños animales que forman parte de la cadena de alimentación de las aves esteparias.

7.3. Módulos fotovoltaicos

Existen numerosas tecnologías desarrolladas actualmente, siendo la más común los módulos de silicio cristalino. Los módulos (c-Si) ocupan una distribución de mercado del 95%. Dentro de esta categoría se encuentran los monocristalinos y policristalinos. Durante la última década su eficiencia se ha incrementado hasta el 17-21 % en módulos comerciales, siendo el rango típico de coste (proveedor sin impuestos, no usuario final) entre 0.16-0.35 USD/Wp.

Estos paneles pueden dividirse en tres categorías según su capacidad para producir por ambas caras o su transparencia:

- Monocara
- Bifacial
- Semitransparente.

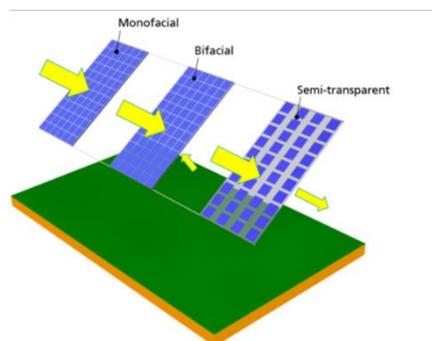


Figura 7-4 Tipología principal módulos (c-Si) [17].

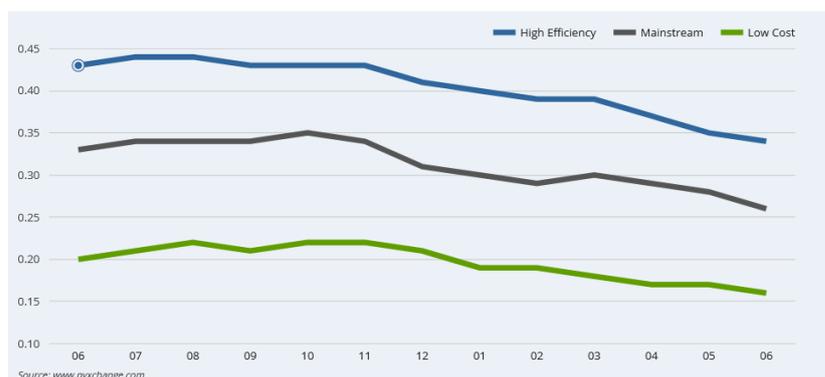


Figura 7-5 Tendencia de precios en el rango temporal de 06/2022-06/2023 [19].

En la figura anterior para llegar al usuario final puede estimarse multiplicando por un factor de 4-6.

7.3.1. Heggelbach

Para este caso en particular no se propone una problemática, sino que se expone como ejemplo de agro-voltaico como alternativa viable. El sitio fue construido en Alemania como parte del proyecto APV-RESOLA. Se instalaron módulos fotovoltaicos de doble cristal bifaciales junto a cultivos. La clave es asegurar una correcta distancia entre módulos para asegurar que los cultivos reciben la luz suficiente.

Características:

- Distancia entre filas: 9.5m. Debido a este factor, la capacidad por hectárea será un 25% menor a un sistema tradicional fotovoltaico.
- Capacidad instalada equivalente para abastecer 62 hogares de cuatro personas anualmente.
- 15 filas midiendo 136m en longitud cada una con 48 módulos de 1.7 m²
- PV módulos bifaciales, SolarWorld 270W
- Producción anual aproximada: 256,000 kWh en 2020
- Capacidad instalada: 194.4 kWp
- Uso: Autoconsumo, suministro a la red, sin tarifa de alimentación regulada.

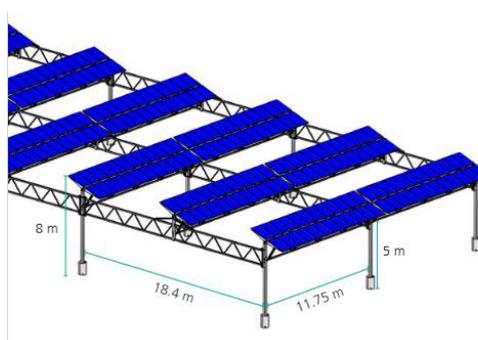


Figura 7-6 Sistema agro-voltaico en Heggelbach, Alemania [16].

7.4. Gestión de la luz

Teniendo en cuenta que la influencia solar cambia a lo largo del día y año, la sombra consecuentemente estará relacionada con este factor. Idealmente la sombra debe ser lo más homogénea posible para el correcto crecimiento y mantenimiento de las plantas. Con objeto de potenciar las sinergias de sombras pueden plantearse unas buenas prácticas:

- Una orientación de paneles en un ángulo de 30-50 grados hacia el sur-este o sur-oeste origina sombras uniformes.
 - o Caso Heggelbach: Utilizando un ángulo de 45 grados respecto al sur, se originó una pérdida en la generación en los cálculos en torno al 5%.
 - o Debe tenerse en cuenta las condiciones locales.
- Existe la opción de mantener la orientación al sur utilizando paneles más estrechos, configuración frecuente en Japón
- Puede alcanzarse una luz uniforme orientando los paneles al este-oeste. Esta orientación incrementa la sombra a lo largo del día, de cara a evitar desplazamiento de sombras a lo largo del día en paneles opacos, el ancho de los paneles solares debe ser considerablemente más pequeño que la altura. De manera general, la altura libre debe ser al menos 1.5 veces mayor que el ancho de las filas o al menos el doble para paneles con seguimiento. Para paneles transparentes este requerimiento puede reducirse.
- Utilizar paneles de seguidor a un eje o dos ejes, pese a que incrementan el coste de inversión y mantenimiento, no obstante, hay que tener en cuenta que los sistemas seguidores a dos ejes requieren pueden instalar paneles más grandes disminuyendo la uniformidad de las sombras [16].

La selección del ángulo azimutal óptimo hacia el sur (valores menos negativos del ángulo 0) ya que el perfil muestra picos más bajos en comparación con módulos fotovoltaicos orientados hacia el este (siguiente figura).

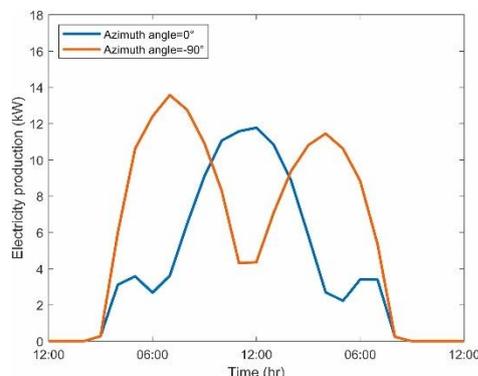


Figura 7-7 Perfil horario de electricidad para un sistema fotovoltaico bifacial montado verticalmente, orientado hacia el sur (ángulo de azimut = 0°) y hacia el este (ángulo de azimut = -90°) durante un único día [20].

En el diagrama de dispersión con densidad respecto al ángulo azimutal óptimo y la distancia entre filas como función para la producción de electricidad nos muestra que la mayoría de los ángulos azimutales óptimos se localizan en los alrededores de -40° , por otro lado, también nos indica que las distancias óptimas entre filas se encuentran en el rango de 8-10m [20].

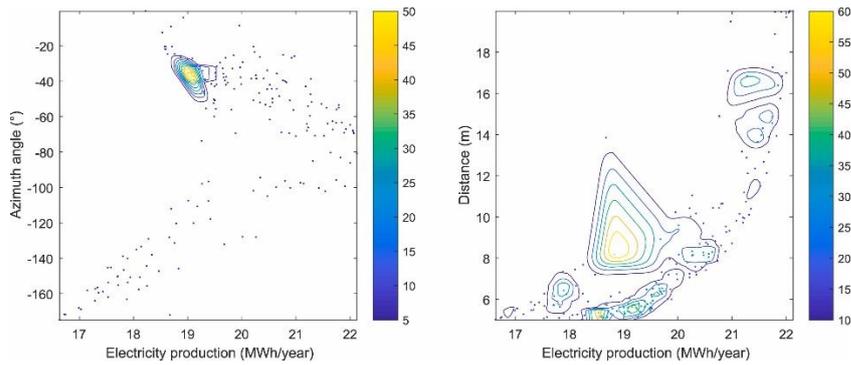


Figura 7-8 Distribuciones óptimas de ángulo de azimut y distancia en comparación con la producción anual de electricidad [20].

7.5. Distancia entre filas

A continuación, se muestra la correlación entre el rendimiento de los cultivos, la producción de electricidad específica y la distancia entre filas. Como puede observarse, modificando la distancia entre filas entre 5-20m el rendimiento de los cultivos se duplicó. Los máximos rendimientos de avena y patata sin efecto sombreado fueron de 5.0t/ha y 6.9 t/ha respectivamente (materia seca).

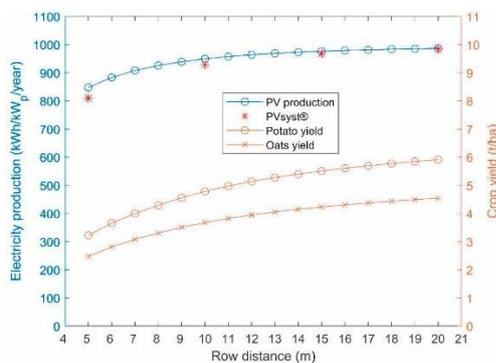


Figura 7-9 Relación entre la distancia entre filas, la producción específica de energía fotovoltaica y el rendimiento de cultivos (avena y patata) [20].

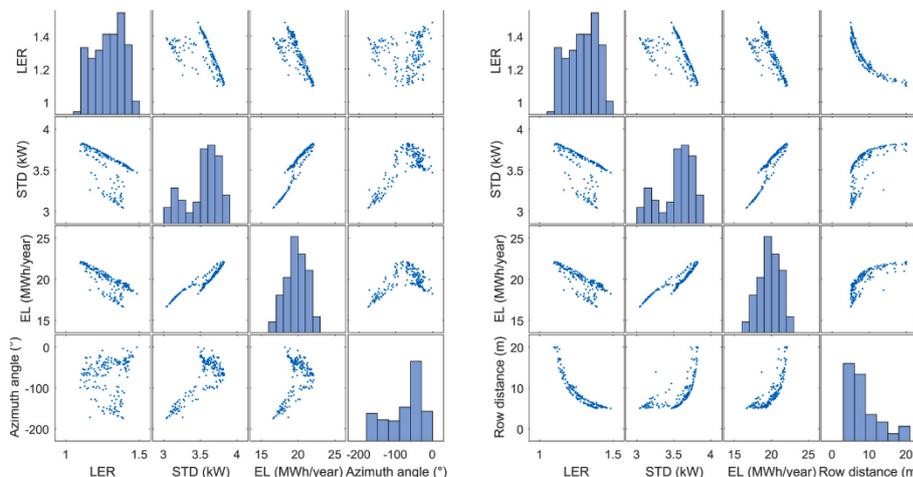


Figura 7-10 Matriz de gráficos de dispersión del Índice de Equivalencia de Tierra (LER), la fluctuación de potencia (STD), la producción anual de electricidad (EL) y el ángulo de azimut (izquierda), y la distancia entre filas (derecha) [20].

Si estudiamos las contribuciones del rendimiento de cultivo y la producción de electricidad (LER), podemos observar que la distancia de filas óptima dependerá del cultivo y sus horas de sol requeridas, por ejemplo: 9.7 m para patatas y 9.2m para la avena. Este punto es de alta importancia y debe ser considerado en las simulaciones según los requerimientos de las plantaciones.

Cabe destacar que el rendimiento del cultivo puede reducirse a la mitad al modificar extremos entre los 20m y 5m. En el caso opuesto, al tratar de maximizar el LER, tenderíamos a reducir significativamente la producción de electricidad lo que podría dañar o impactar en la inversión del sistema fotovoltaico. Alcanzar el equilibrio será un factor determinante.

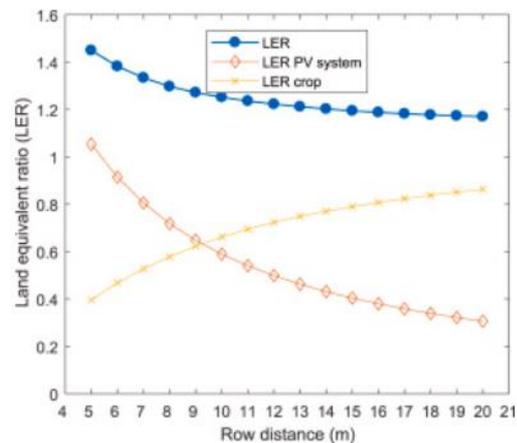


Figura 7-11 Índice de Equivalencia de Tierra (LER) y sus contribuciones (es decir, el LER relacionado con el rendimiento del cultivo y con la producción de electricidad) para avena (derecha) y papa (izquierda) [20].

Pese a que una distancia menor entre filas continuas reduce el rendimiento del cultivo y la producción de energía fotovoltaica, el LER aumenta, ya que la producción específica de energía fotovoltaica por unidad de área aumenta haciendo que la contribución fotovoltaica sea más significativa que la contribución del cultivo al LER.

En la figura anterior podemos observar cómo el LER para la avena y la patata se divide en dos contribuciones (cultivo y producción de electricidad). En el año investigado, una distancia entre filas aproximada de 9.2m se configura como un compromiso óptimo para la avena y 9.7 m para la patata. Es importante señalar que para garantizar un LER por encima de 1.3, las distancias entre filas serían de 8m y 7m para la avena y patata respectivamente. Por otro lado, en caso de querer garantizar un objetivo de al menos el 70% del cultivo en condiciones de campo abierto, la distancia entre filas para la avena sería de 9m, de la patata 11m.

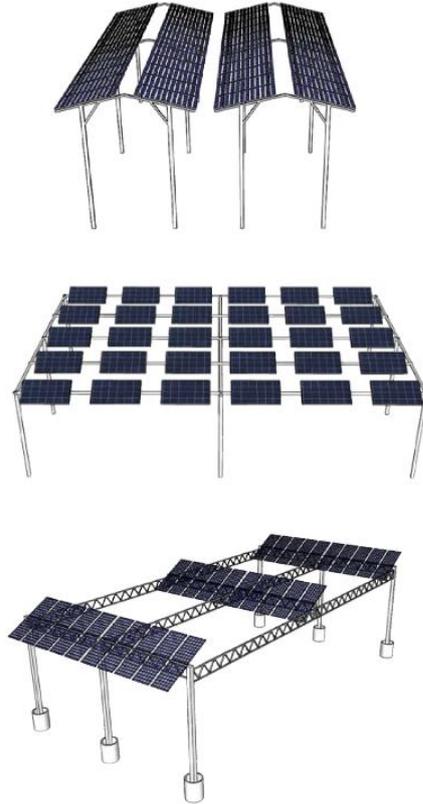


Figura 7-12 Paneles orientados al este-oeste, sur y al sureste [16].

7.6. Altura

Debe considerarse la altura mínima entre el primer obstáculo y el suelo. Teniendo en cuenta la altura mínima de los módulos localizados encima de las estructuras. La propia actividad agrícola y por ende, la actividad de las aves esteparias se desarrollará por debajo de los módulos, por tanto:

- Debe considerarse un mínimo de 1.3m para usos de suelo con actividad zootécnica (paso de animales sin interrupción)
- Para cultivos, debe establecerse una altura mínima de 2.1 metros. Esto permitirá una correcta funcionalidad de la maquinaria agrícola

8. DISEÑO CONCEPTUAL INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

En este apartado realizaremos un dimensionamiento conceptual de la instalación fotovoltaica como punto de partida cuyas características se esperan que sean compatibles con los usos agrícolas del terreno y reduzca el impacto sobre las aves esteparias. Para el diseño y simulación de la instalación se ha utilizado PVsyst¹[21].

El diseño tiene como fundamento el aprovechamiento de la luz solar de manera eficiente, también aborda los desafíos ambientales, técnicos y económicos que implica su implementación. Si bien se han tenido en cuenta recomendaciones y precauciones para evitar un posible conflicto con los hábitats de aves esteparias, se tendrá en cuenta en el diseño conceptual que es requerido el mayor número posible de exigencias para su ejecución.

¹ PVsyst es un software utilizado en la industria solar para analizar y diseñar sistemas de energía solar. Permite simular la producción de energía, considerando factores como ubicación, clima y componentes.

Pese a que no trata de alcanzar un diseño exhaustivo de una instalación fotovoltaica, el diseño requiere un enfoque riguroso desde un punto de vista de fase conceptual. En este contexto, el diseño no se limita solo a la disposición de los paneles solares, posee una mayor profundidad considerando los factores geográficos, climáticos y de infraestructura. Por otro lado, también se ha tenido en cuenta la optimización de la captación solar con la orientación e inclinación adecuada de los paneles.

La interacción e integración con el ambiente natural y la fauna local, seguirá en mayor medida las recomendaciones expuestas en el apartado seis de este proyecto evitando una repetición de estas.

Por ello, esta etapa de investigación y planificación meticulosa se espera que sirva como modelo de creatividad e innovación ante la dificultad expuesta en este trabajo en lo referido a las aves esteparias de una manera sostenible y responsable.

8.1. Ubicación:

La instalación se encuentra a 1km de Almendricos, a 2 km de los Soleres y a 2 km de Pozo de la Higuera. Por otro lado, se localiza a 160m de la línea divisoria entre las comunidades autónomas de Murcia y Andalucía. Se implantará la superficie equivalente a un rectángulo de 500m X 1040m (520,000 m²)



Figura 8-1 Área seleccionada para la superficie disponible de la instalación fotovoltaica., vista aérea obtenida de Google Earth

Las distancia a infraestructuras más relevantes se encuentran a continuación:

- La autopista AP7 (Mediterránea) dista de la instalación a 6.3km lineales.
- La carretera D-17 se encuentra aproximadamente a 1.5 km lineal.
- Se encuentra a 4.6km de distancia de la red natura, encontrándose esta al este de la ubicación propuesta para la instalación La ubicación propuesta de la instalación se encontraría a 8.9km de una zona de interés comunitario localizada en la comunidad autónoma de Andalucía.

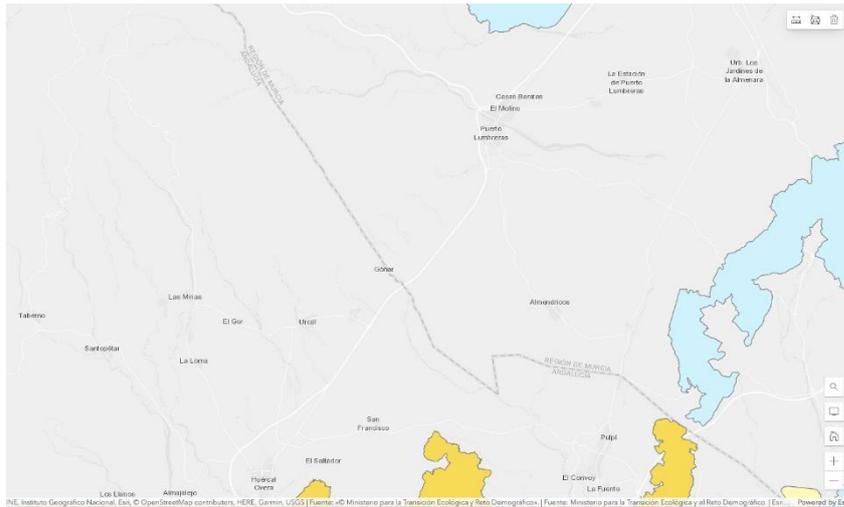


Figura 8-2 Zonas protegidas cercanas a la superficie seleccionada para la instalación. Obtenida de ArcGIS Base de datos Red Natura 2000.

Siguiendo la recomendación de identificar zonas identificadas por SEO/Bird Live para poder estimar el alcance de afectación sobre determinadas especies, se deduce que la instalación no se encontrará dentro de ninguna área de afectación. No obstante, se han identificado áreas cercanas según las diferentes consultas:



Figura 8-3 Especies detectadas en la zona de Sierra de la Torrecilla y Del Gigante[22]



Figura 8-4 Especies detectadas en la zona de Sierra De la Almenara – Cabo Cope [23].

8.2. Irradiancia

Para la ubicación seleccionada obtenemos los valores mostrados en la tabla 8-1.

Tabla 8-1 Balances y resultados principales PVSyst

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	PR
Mes	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh	kWh	proporción
Enero	78.8	27.19	10.33	133.1	131.1	1200493	1185871	0.966
Febrero	96.3	36.31	11.6	139.6	137.5	1269400	1253619	0.974
Marzo	144.4	56.99	14.53	178.7	175.2	1621195	1601477	0.972
Abril	176.1	61.02	17.06	189.4	185.1	1702838	1681858	0.963
Mayo	212.3	72.07	20.99	202.5	197.4	1829748	1807026	0.968
Junio	232.8	72.02	25.17	212.1	207	1902106	1879256	0.961
Julio	239.6	66.49	28.18	223.9	218.8	1961472	1937589	0.939
Agosto	208.2	65.98	28.16	215.5	211	1863472	1840882	0.926
Septiembre	155.6	54.77	24	182.7	178.8	1580620	1561636	0.927
Octubre	119.8	43.65	20.16	164.6	161.9	1444215	1426832	0.94
Noviembre	82.8	30.45	14.07	132.8	130.7	1187137	1172388	0.958
Diciembre	69.5	28.08	11.01	118.3	116.6	1075352	1061649	0.973
Año	1816.1	615.02	18.82	2093	2051.1	18638048	18410084	0.954

8.3. Características de la planta fotovoltaica

La justificación sobre la inclinación de los paneles solares supone un apartado crucial en la planificación de instalaciones fotovoltaicas. La búsqueda de la eficiencia en conjunto al aprovechamiento de la tierra supone un reto conjunto determinante.

La inclinación del plano de los paneles solares juega un papel fundamental en la optimización de la captación de la energía solar ya que se encuentra estrechamente relacionado con el ángulo de incidencia de los rayos solares.

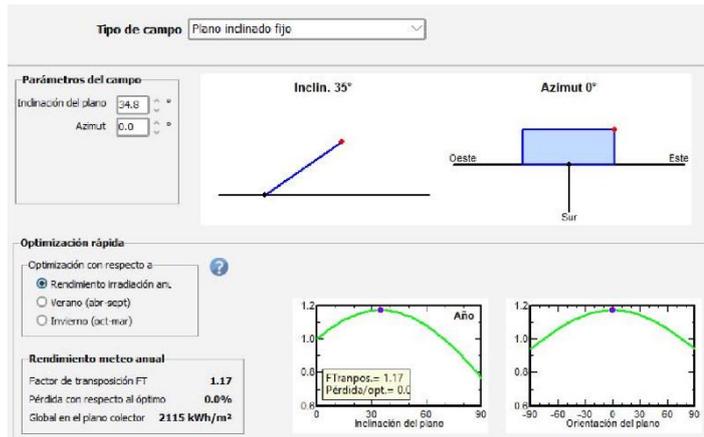


Figura 8-5 Ángulo de Inclinación y azimut en PVsyst.

Destacar la selección de Azimut 0°, si bien se han tenido en cuenta algunas recomendaciones expuestas en el apartado de APV (Agro-Voltaica), algunas se han rechazado debido al resultado (pérdida de rendimiento y producción) en las simulaciones, por ejemplo, la orientación sur-este y este-oeste.

La figura de vista área nos brinda una perspectiva de las filas incluidas, un total de 120 filas con 250 módulos por fila, una distancia entre filas de 8m localizados a una cota de 5 m de altura desde el suelo.

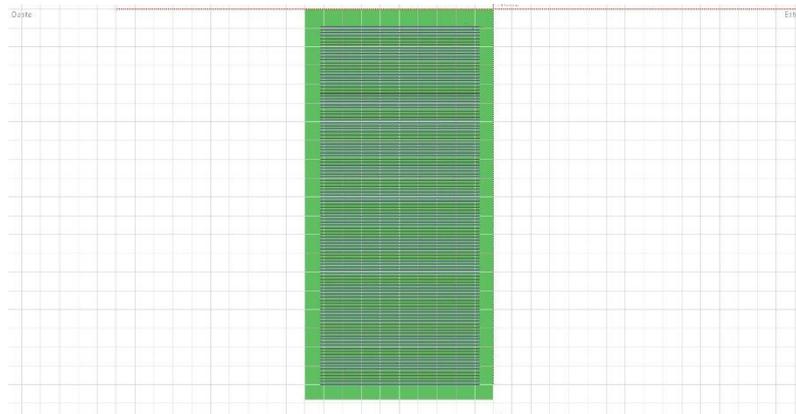


Figura 8-6 Esquema-vista aérea PVsyst

La disposición de los módulos en serie origina cadenas fotovoltaicas que funcionan como unidades independientes de generación. Cabe destacar la importancia de seleccionar el número de cadenas con datos como el terreno utilizado, la radiación solar disponible y la capacidad de los inversores seleccionados.

Los inversores desempeñan una función esencial en el sistema al convertir la energía continua en corriente alterna utilizable e inyectable en la red eléctrica.

En la siguiente figura podremos observar la configuración del sistema:

Subconjunto

Nombre y orientación del subconjunto

Nombre: Orientación: **Plano inclinado fijo**

Inclinación: 35° Azimut: 0°

Ayuda de pre-dimensionamiento

Sin dimensionamiento Ingrese potencia planeada: kWp

Redimens. ... o área disponible(módulos): m²

Seleccione el módulo FV

Disponible ahora: Filtro: **Módulo bifacial** Sistema bifacial

 320 Wp 28V Si-mono JAM60-D09-320-8P Desde 2020 Datasheets 2020

Usar optimizador

Dimensiona. voltaje : Vmp (60°C) **28.9 V**

Voc (-10°C) **45.2 V**

Seleccione el inversor

Disponible ahora: Voltaje de salida 315 V Tr 50Hz 50 Hz 60 Hz

 500 kW 450 - 820 V TL 50/60 Hz EP-500-A-TL Desde 2016

Núm. de inversores: Voltaje de funcionamiento: **450-820 V** Poder global inversor: **7500 kWca**

Voltaje máximo de entrada: **1000 V**

Diseñe el conjunto

Núm. de módulos y cadenas

Mód. en serie: entre 16 y 22

Núm. cadenas: entre 1116 y 1372

Perdida sobrecarga: **0.1 %**

Proporción Pnom: **1.23**

Núm. de módulos: 28812 **Área: 47999 m²**

Condiciones de operación

Vmp (60°C): 606 V

Vmp (20°C): 718 V

Voc (-10°C): 949 V

Irradia. plano: **1000 W/m²**

Isc (STC): 13116 A Máx. en datos STC

Potencia de funcionamiento máx.: **9084 kW**
(en 1088 W/m² y 50°C)

Isc (en STC): 13843 A **Potencia nom. conjunto (STC): 9220 kWp**

Lista de subconjuntos

Nombre	#Mód #Inv.	#Cadena #MPPT
Generador FV		
JA Solar - JAM60-D09-320-8P	21	1372
Sineng - EP-500-A-TL	15	1

Resumen sistema global

Núm. de módulos	28812
Área del módulo	47999 m²
Núm. de inversores	15
Potencia FV nominal	9220 kWp
Potencia de CA nominal	7500 kWca
Proporción Pnom	1.229

Figura 8-7 Definición del sistema de fotovoltaico en PVsyst.

En la siguiente figura se encuentra la hoja de datos técnico del modelo de módulo seleccionado para los paneles solares seleccionados para la planta fotovoltaica.



PVsyst V7.4.0

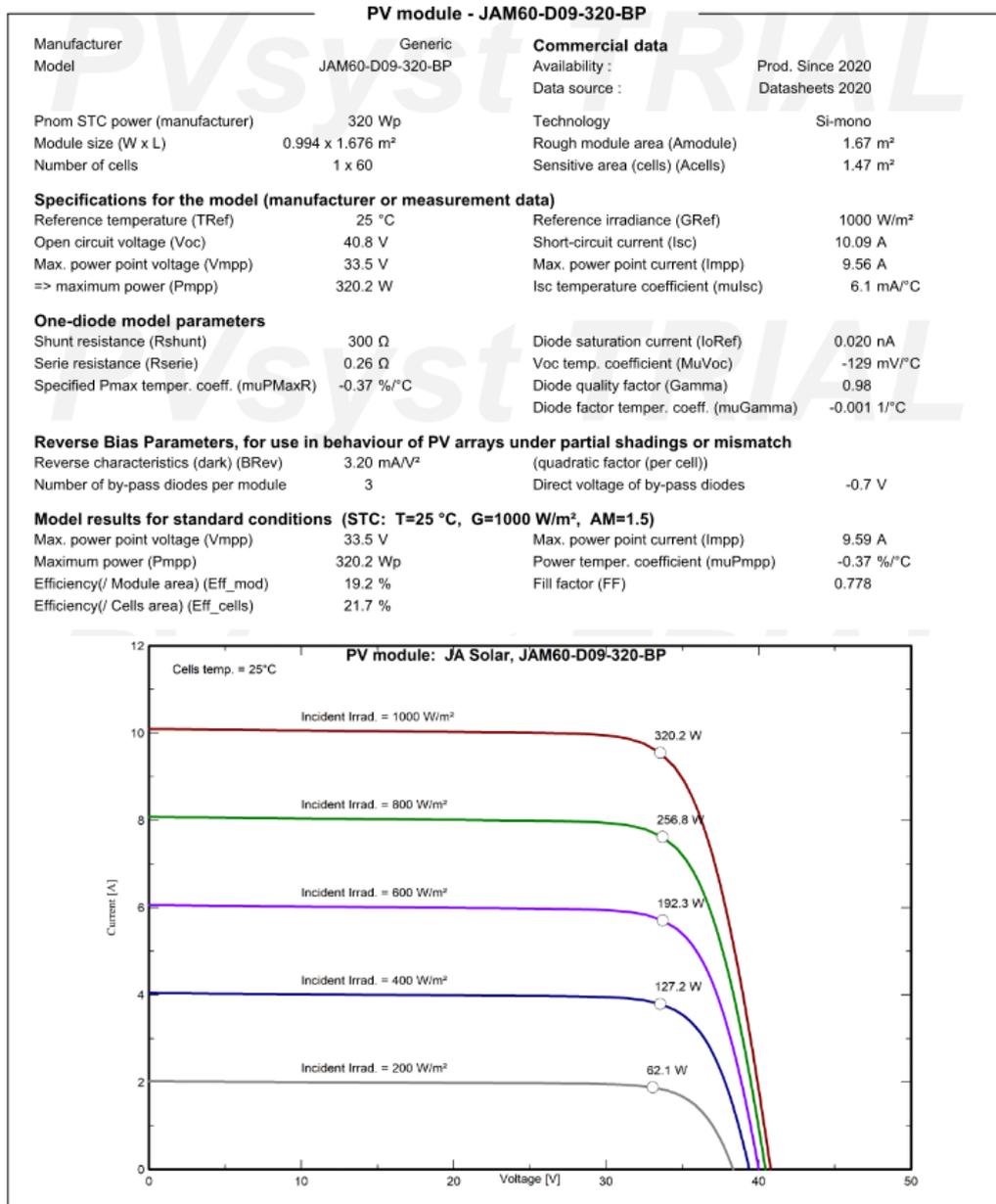


Figura 8-8 Características técnicas del módulo fotovoltaico.

En el apartado anexos puede encontrarse el informe de PVsyst con información detallada, en términos generales:

- Producción específica de 1997 kWh/kWp/año
- Energía producida de 18410084 kWh/año.

8.4. Costes

Los costes de inversión y operación suponen una influencia clave en la determinación de la rentabilidad y factibilidad a largo plazo en cuanto a la implementación de sistemas APV de generación. No obstante, es importante tener en mente que asumiendo estos costes permitimos la posibilidad de generar otra rentabilidad adicional mediante el uso agrícola del suelo implicando un mayor aprovechamiento del terreno. Para las estimaciones se ha tomado como referencia el informe/guía alemán titulado “Agrivoltaics: Opportunities for Agri-culture and the Energy Transition. A Guideline for Germany”[16].

En primer lugar, analizaremos los costes unitarios de ambas alternativas. Posteriormente compararemos los costes para una misma potencia instalada y en último lugar realizaremos una comparativa de costes teniendo en cuenta un mismo terreno disponible y su diseño para cada una de las alternativas.

8.4.1. Costes de inversión

Si bien existen casos de ejemplos puntuales, a diferencia de las instalaciones convencionales, los sistemas agro-voltaicos no disponen de bases de datos de referencia directa.

Los casos de costes basados en la referencia de Fraunhofer, están relacionados con la construcción de la planta experimental de Heggelbach, teniendo en cuenta los costes individuales, de ejecución y licitación, por ende, se presentan como una referencia de estimación fiable.

- Agro-voltaicas en cultivos no permanentes (ejemplo fresas): $700 \frac{kWp}{Hectárea}$
- Agro-voltaicas en pastizales permanentes: $300 \frac{kWp}{Hectárea}$
- Instalaciones tradicionales en tierra: $1000 \frac{kWp}{Hectárea}$

Uno de los conceptos en cuanto a los costes de inversión de mayor impacto, será la tipología de panel seleccionado, ya que parámetros como el tamaño, la potencia y transmisión de la luz pueden ser seleccionados de cara a proporcionar una relación de potencia a la misma vez que se ajusta a las necesidades de crecimiento de los cultivos.

- Para la tipología utilizada para el modelo de cálculo ha sido de módulos fotovoltaicos bifaciales de doble vidrio, se asume un aumento promedio de $326 \frac{€}{kWp}$.
- Para el caso de módulos especiales utilizados en horticultura rondan entre los $240-440 \frac{€}{kWp}$. Estos costes adicionales pueden compensarse al aumentar la capacidad de generación de electricidad en relación con la potencia instalada.
- Estructura, se estiman los siguientes modelos de coste:
 - Costes medios de $372 \frac{€}{kWp}$ en cultivos herbáceos (arable).
 - Rango de costes $97-167 \frac{€}{kWp}$ en pastizales.
 - Rango de costes $243-306 \frac{€}{kWp}$ en horticultura.
 - $76 \frac{€}{kWp}$ para los sistemas fotovoltaicos tradicionales instalados en tierra.

- Costes de preparación e instalación del sitio. La diferencia entre sistemas tradicionales y agrovoltaicos recae en la necesidad de establecer caminos para asegurar una accesibilidad adecuada para las actividades agrícolas:
 - o Agricultura herbácea: $190-266 \frac{\text{€}}{\text{kWp}}$
 - o Sistemas FV tradicionales en suelo: $67-100 \frac{\text{€}}{\text{kWp}}$
 - o Pastizales permanentes y horticultura: $93-137 \frac{\text{€}}{\text{kWp}}$
- Los costes de componentes eléctricos, conexión a red, proyecto, planificación, inversor y cualquier otro componente eléctrico son directamente comparable entre instalaciones tradicionales y sistemas agro-voltaicos.

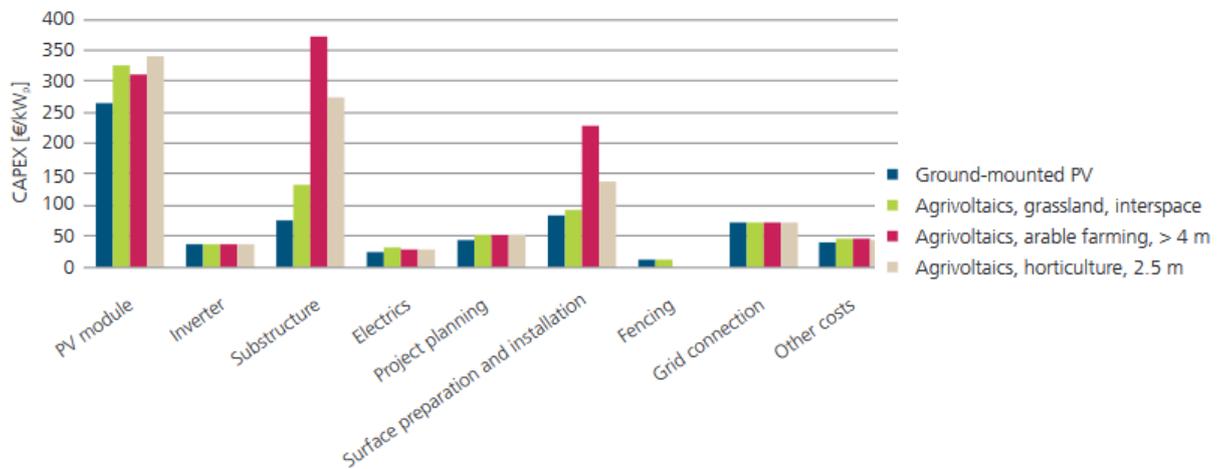


Figura 8-9 Gasto de capital estimado (CAPEX) para sistemas fotovoltaicos montados en el suelo y sistemas agro-voltaicos.

Tabla 8-2 Comparativa estimación coste de capital unitario (€/kWp)/Caso Agrovoltaica (APV)- Caso tradicional (Suelo)

	Caso Tradicional (Suelo)	Caso Agro-voltaica arable	Unidad
Módulos	260	326	€/kWp
Estructura	76	372	€/kWp
Preparación del suelo e instalación	80	225	€/kWp
Inversor	45	45	€/kWp
Electricidad	30	30	€/kWp
Planificación de proyecto	45	50	€/kWp
Cercado	10	10	€/kWp
Conexión a red	60	60	€/kWp

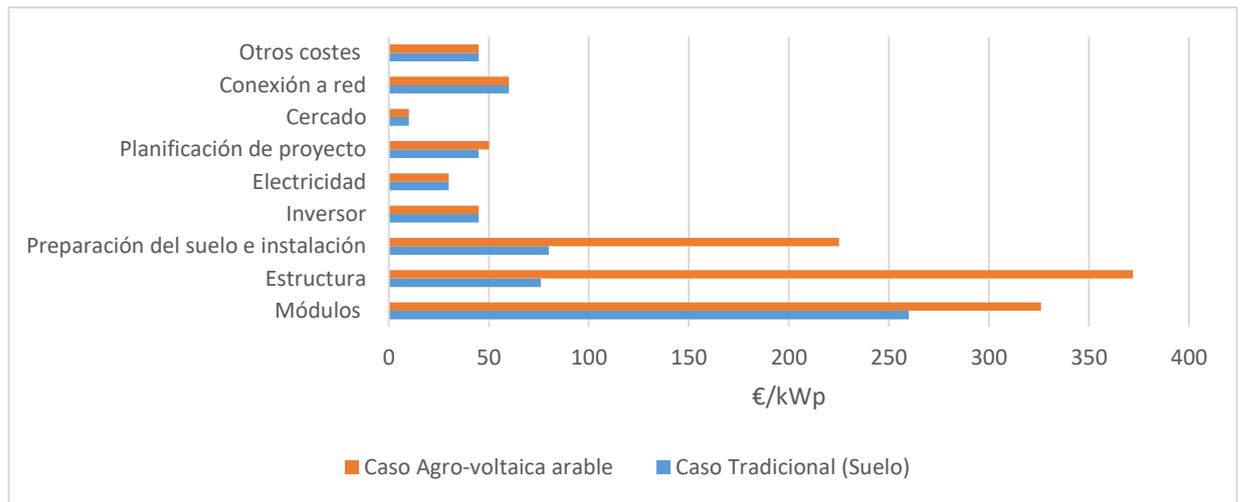


Figura 8-10 Comparativa estimación coste de capital unitario (€/kWp)/Caso Agrovoltaica (APV)- Caso tradicional (Suelo).

Teniendo en cuenta la potencia nominal instalada del parque fotovoltaico diseñado es de 9220 kWp, se puede llegar a estimar los costes en función de dicha potencia como se muestra en la siguiente figura.

Tabla 8-3 Comparativa estimación coste de capital para potencia nominal 9220kWp/Caso Agrovoltaica (APV)- Caso tradicional (Suelo).

	Caso Tradicional (Suelo)	Caso Agro-voltaica arable	Unidad
Módulos	2,397,200	3,005,720	€
Estructura	700,720	3,429,840	€
Preparación del suelo e instalación	737,600	2,074,500	€
Inversor	414,900	414,900	€
Electricidad	276,600	276,600	€
Planificación de proyecto	414,900	461,000	€
Cercado	92,200	92,200	€
Conexión a red	553,200	553,200	€
Otros costes	414,900	414,900	€

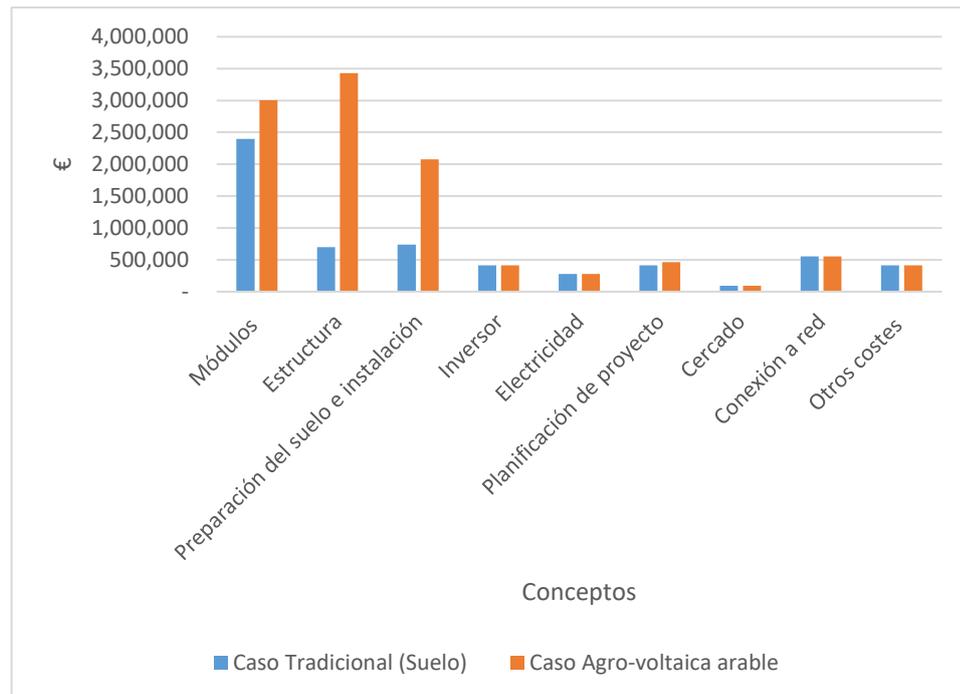


Figura 8-11 Comparativa estimación coste de capital para potencia nominal 9220kWp/Caso Agrovoltaica (APV)- Caso tradicional (Suelo).

8.4.2. Costes operativos

Los costes operativos pueden variar de manera individual existiendo obviamente una intención de tendencia a reducirlos.

- Los costes de proveer el terreno disminuyen entorno. En esta estimación se ha asumido que los costes de área para los sistemas agro-voltaicos se basan en tasas de arrendamiento agrícola dividiéndose por igual entre el uso de la granja y el operador fotovoltaico.
 - $2-1.3 \frac{\text{€}}{\text{kWp}}$ en la agricultura arable o pastizales permanentes.
 - $1.6 \frac{\text{€}}{\text{kWp}}$ en horticultura
- Costes operativos:
 - Los costes de gestión de tierras en instalaciones APV serán asumidos en parte por el uso agrícola regular
 - Es probable que los costes de mantenimiento de los paneles fotovoltaicos, por ejemplo, de limpieza o reparación sean más elevados al estar los paneles en altura.

Tabla 8-4 Comparativa estimación coste de de operación unitario (€/kWp)/Caso Agrovoltaica (APV)- Caso tradicional (Suelo).

	Caso Tradicional (Suelo)	Caso Agro-voltaica arable	Unidad
Terreno	2.25	1.8	€/kWp
Mantenimiento	1.8	0.1	€/kWp
Vigilancia	1.75	1.5	€/kWp
Monitorización	2.25	2.25	€/kWp
Gestión Comercial	5.5	5.5	€/kWp
Sustitución Inversor	1	1	€/kWp
Seguro	1.3	1.3	€/kWp
Servicio Reparación	1.5	2	€/kWp
Otros	1.2	1.2	€/kWp

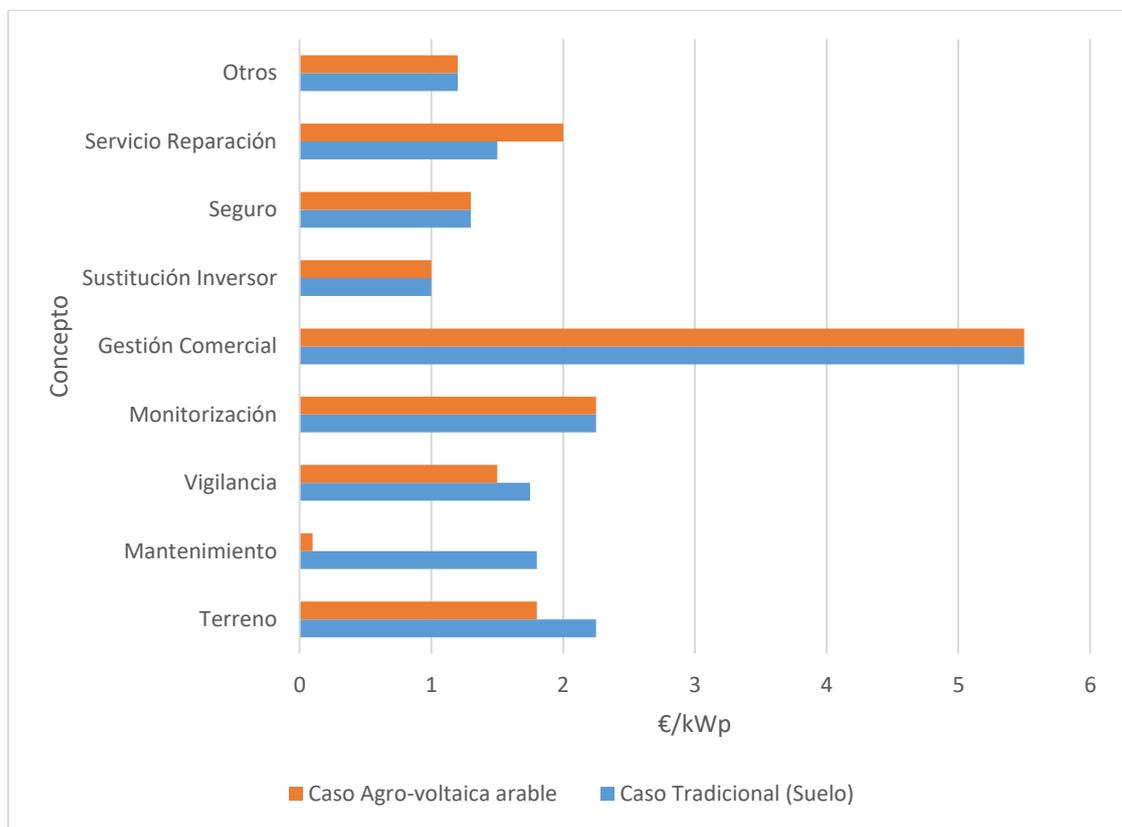


Figura 8-12 Comparativa estimación coste de de operación unitario (€/kWp)/Caso Agrovoltaica (APV)- Caso tradicional (Suelo).

Teniendo en cuenta la potencia nominal del parque fotovoltaico diseñado de 9220 kWp, se pueden estimar los costes en base a esa potencia como se muestra a continuación.

Tabla 8-5 Comparativa estimación coste de operación para potencia nominal 9220kWp/Caso Agrovoltaica (APV)- Caso tradicional (Suelo).

	Caso Tradicional (Suelo)	Caso Agro-voltaica arable	Unidad
Terreno	20,745	16,596	€
Mantenimiento	16,596	922	€
Vigilancia	16,135	13,830	€
Monitorización	20,745	20,745	€
Gestión Comercial	50,710	50,710	€
Sustitución Inversor	9,220	9,220	€
Seguro	11,986	11,986	€
Servicio Reparación	13,830	18,440	€
Otros	11,064	11,064	€

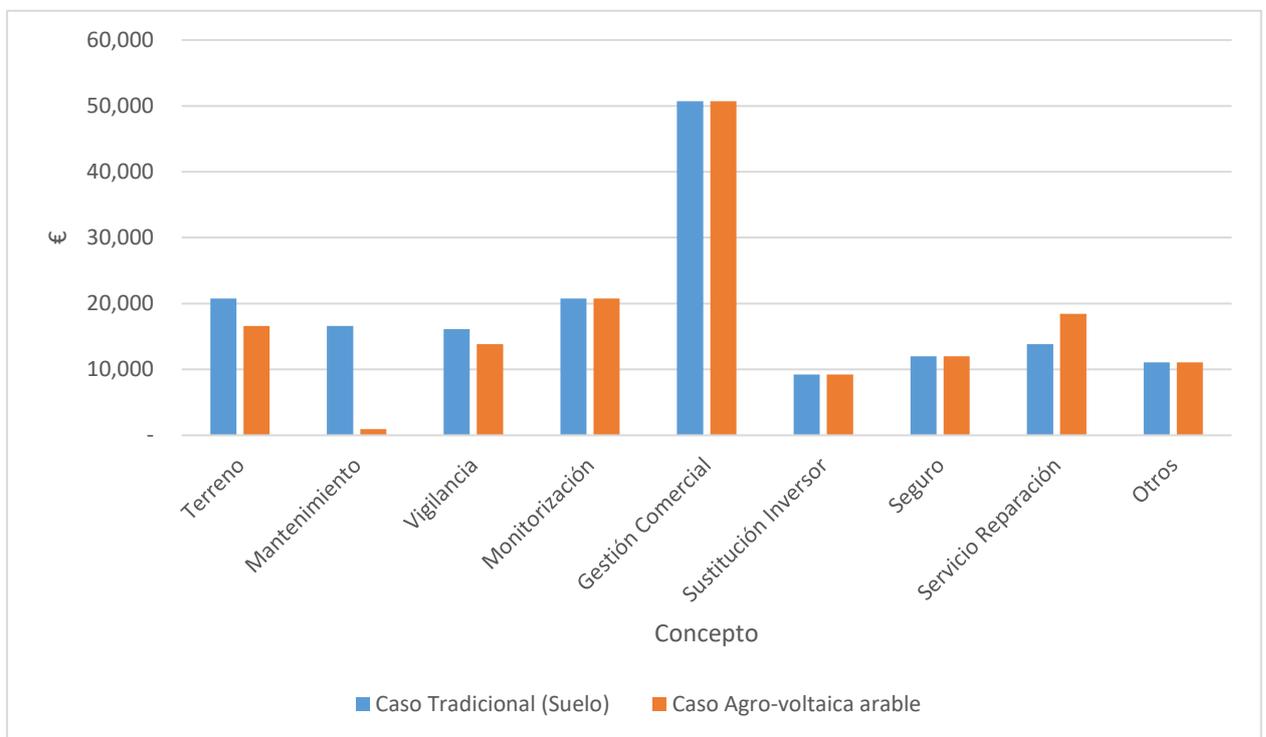


Figura 8-13 Comparativa estimación coste de operación para potencia nominal 9220kWp/Caso Agrovoltaica (APV)- Caso tradicional (Suelo).

A modo de resumen del análisis obtenido al comparar los costes para una misma potencia instalada:

- El espacio de tierra requerido por los sistemas agro-voltaicos es usualmente un 20-25% mayor que el necesario para una instalación fotovoltaica tradicional.
- Un sistema fotovoltaico convencional instalado en el suelo puede alcanzar $700-1100 \frac{kWp}{Hectárea}$
- Los sistemas agro-voltaicos tendrán una capacidad estimada entre $500-800 \frac{kWp}{Hectárea}$

Tabla 8-6 Comparativa estimación coste total de capital para potencia nominal 9220kWp/Caso Agrovoltaica (APV)- Caso tradicional (Suelo).

	Caso Tradicional (Suelo)	Caso Agro-voltaica arable	Unidad
Total	6,002,220	10,722,860	€

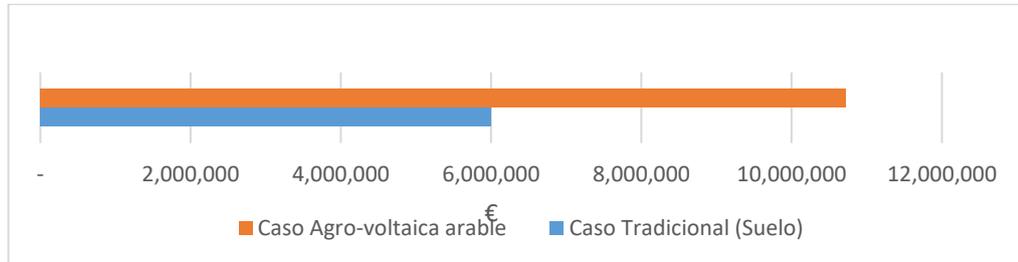


Figura 8-14 Comparativa estimación coste de operación y mantenimiento para potencia nominal 9220kWp/Caso Agrovoltaica (APV)- Caso tradicional (Suelo).

Tabla 8-7 Comparativa estimación coste de operación y mantenimiento para potencia nominal 9220kWp/Caso Agrovoltaica (APV)- Caso tradicional (Suelo).

	Caso Tradicional (Suelo)	Caso Agro-voltaica arable	Unidad
Total	171,031	153,513	€

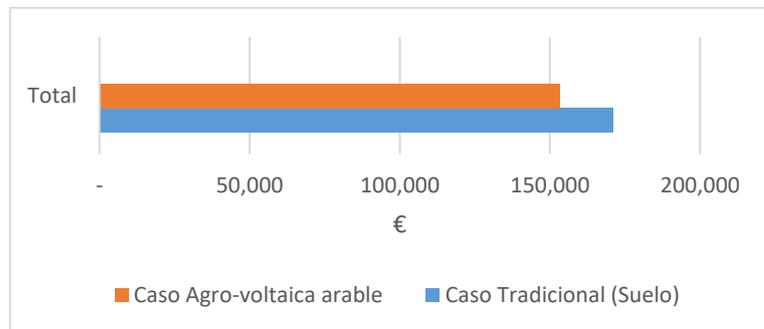


Figura 8-15 Comparativa estimación coste de operación y mantenimiento para potencia nominal 9220kWp/Caso Agrovoltaica (APV)- Caso tradicional (Suelo).

8.4.3. Comparación alternativas diferente dimensionamiento para misma área de terreno

A modo de complementar, realizaremos un análisis teniendo en cuenta un aprovechamiento distinto de la finca al instalar los paneles de manera provisional. Es decir, para un mismo terreno evaluaremos la posibilidad de introducir paneles en el suelo de la manera tradicional frente a la instalación agro-voltaica diseñada. Mantendremos los costes unitarios $\frac{\text{€}}{\text{kWp}}$ definidos en este capítulo para ambas alternativas.

Tabla 8-8 Datos introductorios

	Agrovoltaica	Tradicional
Total, Paneles (Número)	28812	135000
Columnas Paneles: (Número)	250	250
Filas Paneles (Número)	120	540
Número inversores	15	68
Potencia instalada (W_p): final	9220000	43200000

El número de paneles final a instalar determinados es mayor en el caso de la instalación tradicional debido a que requiere una menor distancia entre ristas paralelas, para cumplir con el mínimo ha sido evaluado el ángulo de sol el 21 de diciembre, obteniendo una distancia mínima de 1.2m. Para el número de paneles determinado obtenemos como superficie requerida total 498547.83 m², teniendo en cuenta un margen para el coeficiente de sombras más una reserva para caminos, suelos y elementos límites o cercado del 20%. El resto de los parámetros y variables se mantienen constantes entre ambos tipos de instalaciones como ángulo óptimo, irradiancia, etc.

Podemos observar el cálculo de producción de energía generada en comparación con ambas alternativas:

Tabla 8-9 Cálculo de la energía generada (Datos irradiancia fuente PVGIS interactive Tools)

Mes	Días/mes	Agrovoltaica			Tradicional	
		Gt (kWh/m ² /dia)	Et (kWh/dia)	Et (kWh/mes)	Et (kWh/dia)	Et (kWh/mes)
Ene	31	4.76	44136.35	1368226.94	198613.59	6157021.25
Feb	28	6.01	56222.62	1574233.34	253001.79	7084050.05
Mar	31	5.11	47575.31	1474834.56	214088.89	6636755.52
Abr	30	5.45	50365.67	1510970.11	226645.52	6799365.50
May	31	6.89	64060.37	1985871.36	288271.65	8936421.12
Jun	30	7.12	65710.87	1971326.21	295698.93	8870967.94
Jul	31	7.28	65665.54	2035631.81	295494.94	9160343.14
Ago	31	7.19	63893.28	1980691.78	287519.77	8913112.99
Sep	30	6.36	56578.15	1697344.42	254601.66	7638049.87
Oct	31	6.10	55063.87	1706979.84	247787.40	7681409.28
Nov	30	4.76	43804.36	1314130.75	197119.61	5913588.38
Dic	31	5.05	47162.00	1462022.02	212229.00	6579099.07
Media anual:		6.01	55019.87	1673521.93	247589.40	7530848.68
Total anual:				20082263.14		90370184.11

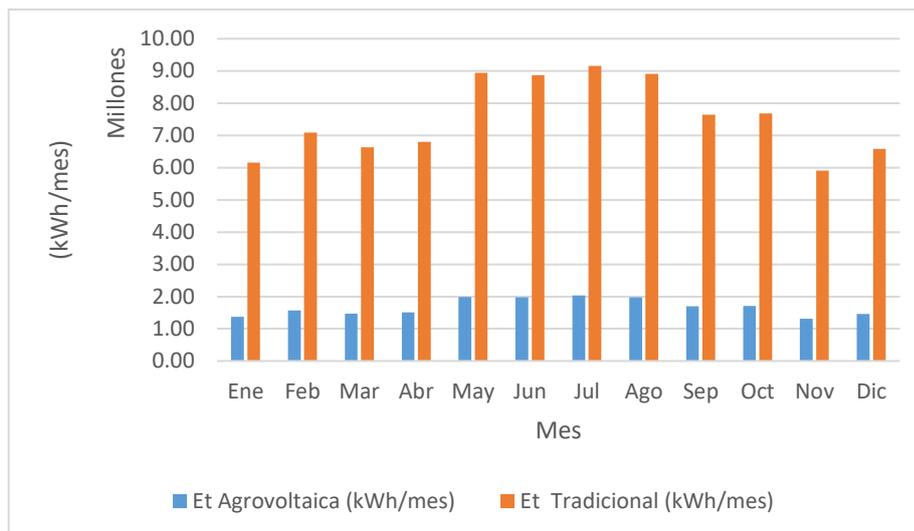


Figura 8-16 Comparativa producción

Tabla 8-10 Coste de Instalación

	Agro-voltaica		Tradicional	
	General		General	
Precio paneles:	3,129,600.00	€	11,232,000.00	€
Precio BOS (Inversor):	414,900.00	€	1,880,880.00	€
Otros costes:	414,900.00	€	414,900.00	€
Precio estructura	3,571,200.00	€	3,283,200.00	€
Preparación del suelo e instalación	2,160,000.00	€	3,456,000.00	€
Electricidad	288,000.00	€	1,296,000.00	€
Planificación de proyecto	480,000.00	€	1,944,000.00	€
Cercado	96,000.00	€	432,000.00	€
Conexión a red	576,000.00	€	2,592,000.00	€
TOTAL:	11,130,600.00	€	26,530,980.00	€

La inversión inicial respecto al coste de instalación global de ambas alternativas sería menor para el caso de la agro-voltaica debido a la menor potencia instalada, no obstante, hay que tener en cuenta tal y como mencionamos al comienzo de este capítulo los costes unitarios son mayores debido a la tecnología y diseño utilizado.

Tabla 8-11 Coste de Mantenimiento

Gasto/año (% Coste Instalación total)	Agro-voltaica		Tradicional	
	€/KWp	General	€/KWp	General
Gasto/año (% Coste Instalación total)		1.60		2.71
Gasto anual:		178,080		719,280
Terreno	2.25	21,600	1.8	77,760
Mantenimiento	1.8	17,280	0.1	4,320
Vigilancia	1.75	16,800	1.5	64,800
Monitorización	2.25	21,600	2.25	97,200
Gestión Comercial	5.5	52,800	5.5	237,600
Sustitución Inversor	1	9,600	1	43,200
Seguro	1.3	12,480	1.3	56,160
Servicio Reparación	1.5	14,400	2	86,400
Otros	1.2	11,520	1.2	51,840

Los parámetros económicos y ambientales se considerarán comunes.

Tabla 8-12 Parámetros económicos

Tasa de inflación:		1.5	%
Tasa de inflación (eléctrica):		2	%
Tasa de interés:		5	%
Precio kWh en red:		0.085	€/kWh
Coste Tm CO ₂ :		5.66	€/Tm CO ₂
Impuestos a la generación:		0.001	€/kWh

Tabla 8-13 Parámetros ambientales

Emisiones del mix eléctrico:		0.399	Kg CO ₂ eq/kWh
Lluvia ácida:		0.366	g SO _x /kWh
Óxidos de nitrógeno:		0.261	g NO _x /kWh

Una vez realizado el cálculo podemos obtener el balance neto teniendo en cuenta la tasa de inflación constante:

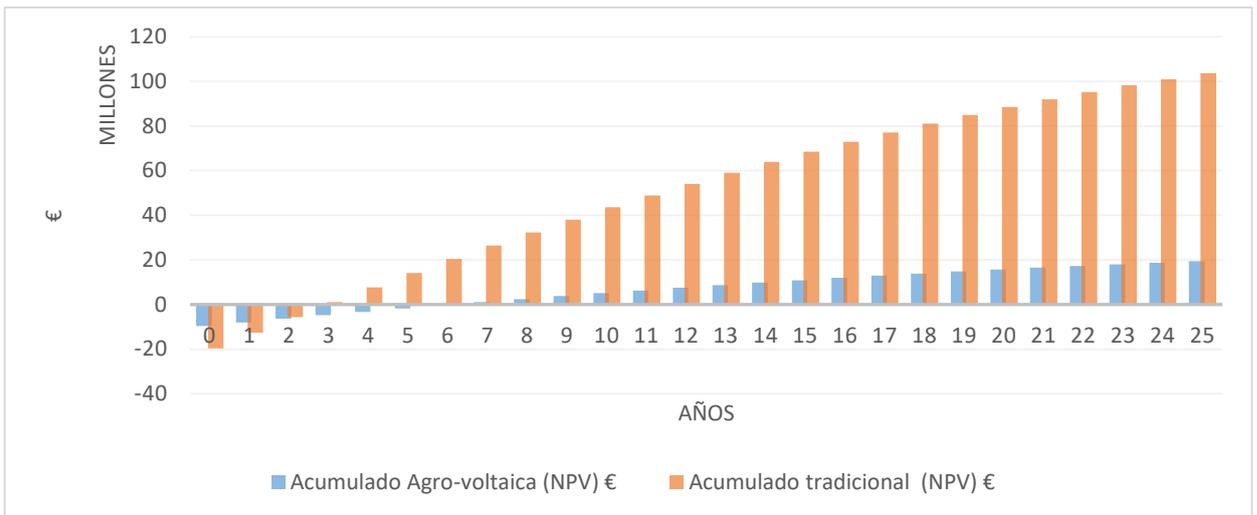


Figura 8-17 Comparativa Balance Acumulado

Observamos como el balance neto acumulado comienza a ser positivo en el año 3 para el caso de la instalación en suelo tradicional. Por otro lado, se mantiene negativo para el caso de la agro-voltaica hasta el año número 6.



Figura 8-18 Comparativa tasa de retorno

La tasa de retorno, por tanto, coincide con el mismo comportamiento del balance neto. Por otro lado, es apreciable como el margen es mayor en la instalación tradicional a lo largo del tiempo, alcanzando aproximadamente el 4% en su máximo frente al casi 2% en la instalación agro-voltaica.

8.4.4. Análisis comparativo

La comparación entre instalaciones fotovoltaicas tradicionales e instalaciones agro-voltaicas presentan un contexto de interés que abarcando diferentes aspectos económicos ambientales y de eficiencia:

- Costes

Las instalaciones agro-voltaicas presentarán mayores costes unitarios iniciales que las tradicionales puesto que presentan la necesidad de elevar los módulos fotovoltaicos y, por ello requerirán de estructuras más complejas para su sustentación. Cabe destacar que las instalaciones APV permiten el doble uso de la tierra en el que se podrá obtener otro tipo de beneficio económico mientras que las instalaciones tradicionales no poseen esta capacidad.

- Teniendo en cuenta el coste de capital para una misma potencia instalada, para el caso de APV obtenemos unos costes con un incremento porcentual del 79% respecto a la alternativa de FV tradicional.
- En el supuesto de instalar una instalación aprovechando al máximo un mismo terreno, comparando ambas alternativas para nuestra ubicación seleccionada el coste inicial será obviamente mayor en la tradicional puesto que se introducirá un mayor número de paneles.
- En los costes de operación y mantenimiento, obtenemos un resultado de costes menores para las instalaciones de APV, teniendo las instalaciones tradicionales unos costes un 11% mayores.

- Eficiencia del uso del terreno:

Las instalaciones APV utilizan el mismo terreno tanto para la generación de electricidad como para la producción agrícola. Sin embargo, pueden generarse sombras que generen una afectación parcial a la calidad o cantidad de los cultivos. Las instalaciones tradicionales FV no poseen esta capacidad de eficiencia sin embargo los módulos podrán tener una distancia menor entre filas lo que puede generar un número mayor de módulos para una misma área disponible.

- Generación de energía:

La producción de las instalaciones APV puede ser menor debido a la necesidad de espaciar los paneles solares con objeto de proveer una correcta radiación solar a los cultivos. Las instalaciones tradicionales, por el contrario, poseen una mayor densidad de producción de energía por área. Por ello, generaríamos una mayor producción respecto a un mismo área que favorece una mayor rentabilidad disminuyendo el periodo de inversión. Es importante subrayar que en nuestro estudio económico no hemos tenido en cuenta el uso del suelo agrícola y la rentabilidad que podría obtenerse al explotarlo como tal ya que dependería de múltiples factores ajenos a este estudio como podría ser el cultivo seleccionado, recursos hídricos disponibles, etc.

- Impacto ambiental:

Las instalaciones APV promueven prácticas agrícolas sostenibles, conservación de la biodiversidad, un menor impacto en las estepas y/o cultivos reduciendo los efectos más significativos en las aves esteparias comparándola con las instalaciones tradicionales

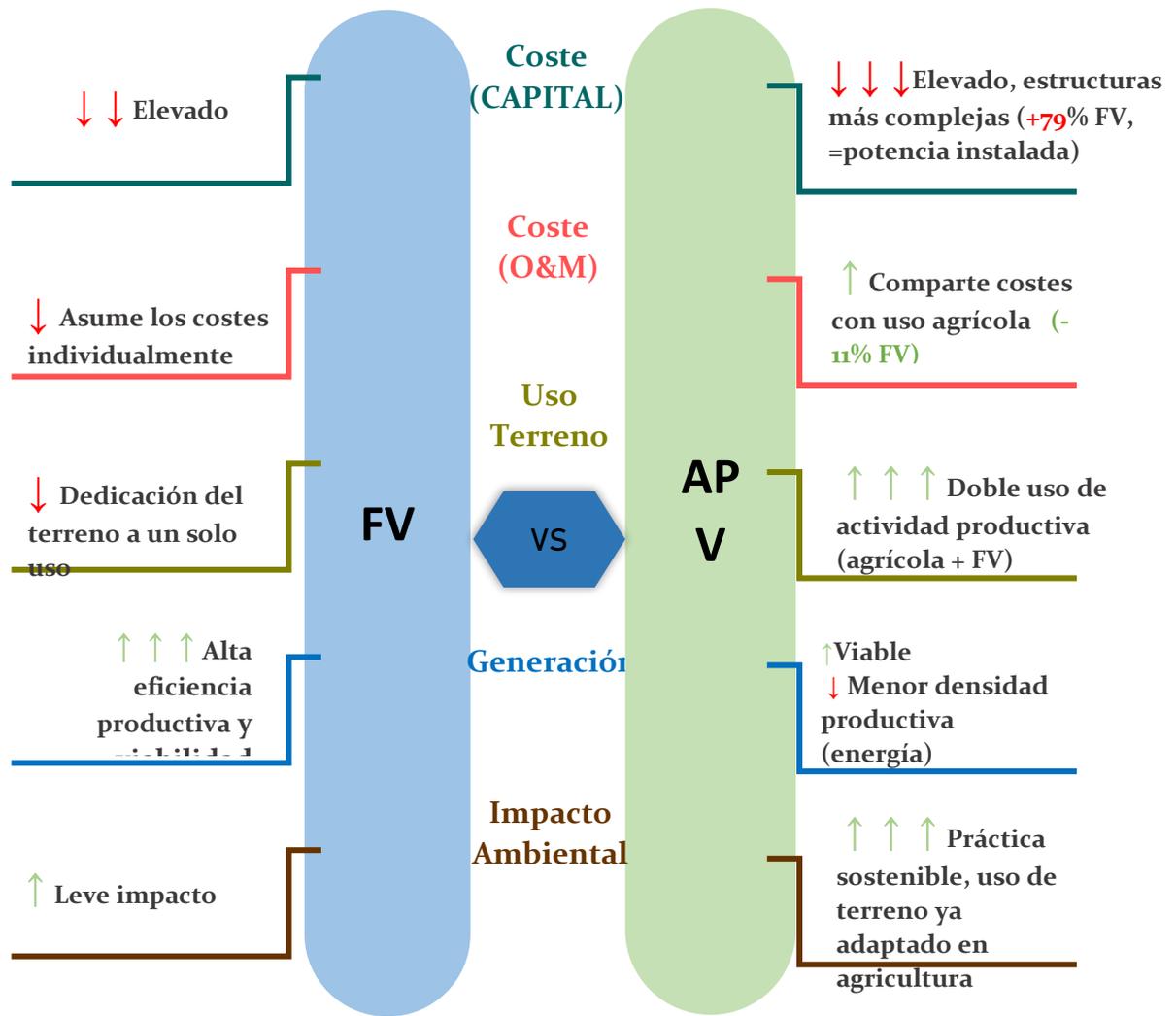


Figura 8-19 Esquema comparativo Fotovoltaico tradicional vs APV (agro-voltaico)

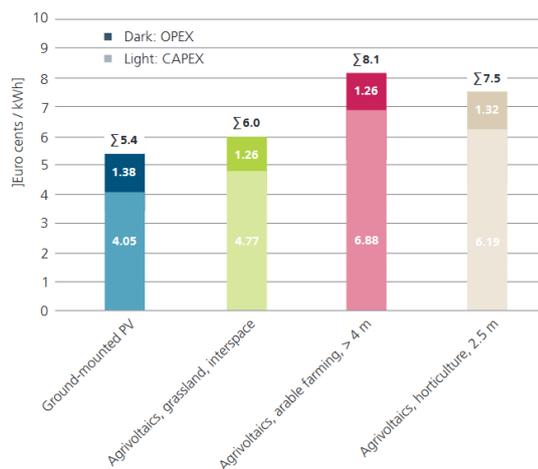


Figura 8-20 comparación de los costos nivelados estimados de electricidad según el gasto de capital (siglas en inglés: CAPEX) y los gastos operativos (siglas en inglés: OPEX) de sistemas fotovoltaicos montados en el suelo y sistemas agro-voltaicos [16].

Siguiendo los datos proporcionados por *Fraunhofer ISE. Agrivoltaics: Opportunities for Agriculture and the Energy Transition. A Guideline for Germany | April 2022*, puede ser concluido que la media de coste de producción de electricidad en un periodo de 20 años será de 8.15 céntimos por kWh, lo cual supone entorno un 50% mayor que instalaciones FV tradicionales.

9. BUENAS PRÁCTICAS

En este apartado, se presentan los conceptos claves de cara a focalizar las buenas prácticas para promover una correcta coexistencia entre las aves y el desarrollo e implantación de instalaciones fotovoltaicas. Estas prácticas se obtienen del análisis y la comprensión detallada de las necesidades de las aves esteparias y el efecto o posible impacto originado por la energía fotovoltaica.

Como se ha mencionado de manera previa, el desarrollo de estas instalaciones ha originado preocupaciones sobre el impacto que ocasionan en los ecosistemas, provocando la necesidad de adoptar prácticas como medidas para mitigar o eliminar dicho impacto.

Es esperable que la implementación efectiva de las buenas prácticas contribuirá no sólo a la preservación de las aves esteparias sino también a facilitar el desarrollo de los proyectos y su ejecución, tratando de evitar situaciones inesperadas que puedan producir un bloqueo o paralización de éste.

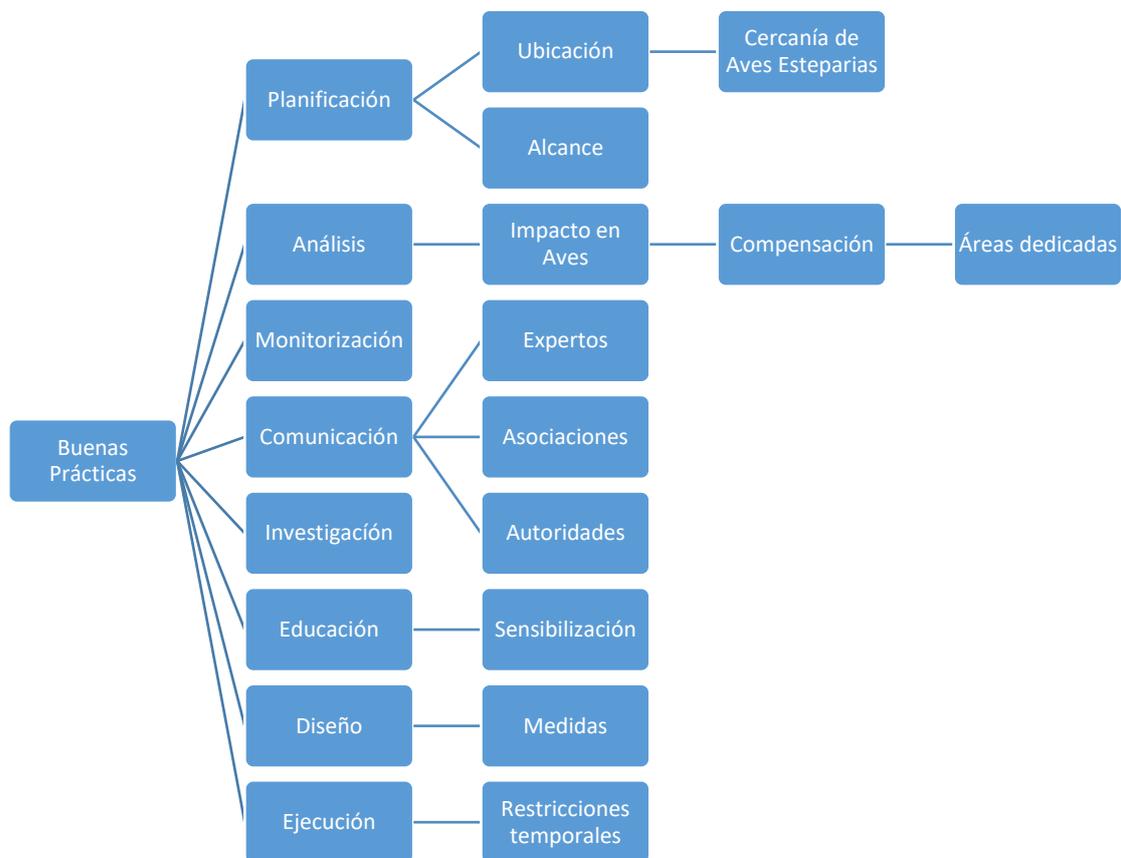


Figura 9-1 Esquema Buenas prácticas

- **Ubicación estratégica:** La etapa de seleccionar cuidadosamente los emplazamientos para las instalaciones es evidentemente crítica. Es evidente que una selección adecuada evitando en la medida de lo posible ubicaciones que puedan comprometer la preservación de las aves esteparias, sus zonas de nidificación, alimentación y rutas de migración.
- **Planificación del alcance:** Analizar el alcance de las diferentes necesidades del proyecto.
- **Análisis:** El estudio de impacto ambiental de manera exhaustiva y previamente a los inicios de la construcción deben identificar los impactos, medidas compensatorias, preventivas y correctivas según sea necesario.
- El diseño de las infraestructuras y la ejecución de medidas debe tenerse en cuenta de manera que minimice la interferencia de la instalación con el hábitat de las aves, tanto en etapa constructiva como operativa.
- **Restricciones temporales:** Limitar según necesidades las actividades de construcción y mantenimiento en las épocas críticas para las aves esteparias.
- Incluir áreas destinadas a refugios y alimentación dentro o en las cercanías de las instalaciones ya sea vegetación natural, cuerpos de agua o nidos artificiales.
- **Educación:** Sensibilizar al personal mano de obra durante la ejecución del proyecto y personal que trabaje en las instalaciones para que sean capaces de reconocer las especies y sus hábitos, aplicar las medidas necesarias y promover prácticas que reduzca cualquier perturbación.
- **Monitorización:** Deben establecerse tecnologías y/o programas de monitorización a largo plazo para evaluar en continuo el impacto ambiental y ser capaz de reconocer cualquier desviación ajustando las estrategias necesarias en cada momento.
- **Colaboración con expertos:** Trabajar mano a mano con expertos en ornitología promoverá un buen diálogo y reconocer las necesidades específicas para cada caso.
- **Investigación y desarrollo:** Fomentar la investigación en tecnologías innovadoras que reduzcan aún más el impacto en aves.
- **Compensación y restauración:** En caso de existir una afectación que no pueda evitarse, se implementarán medidas para mitigar en la medida de lo posible los riesgos, compensando el defecto ocasionado y facilitando la vida de las aves esteparias, promoviendo nuevos hábitats si fuera necesario restaurando las áreas y poblaciones afectadas.

10. CONCLUSIONES

El análisis de casos y alternativas han formado el núcleo del presente estudio, explorando la posibilidad de establecer pautas y buscar soluciones que permitan mitigar el impacto ambiental sin frenar ejecuciones de proyectos de energía fotovoltaica. Siendo de especial importancia la información en la toma de decisiones a la misma vez que se tiene en cuenta la preservación de la fauna aviar esteparia como prioridad.

Por un lado, se han presentado medidas llamadas tradicionales, obtenidas de proyectos pasados o presentes en los que determinados organismos reguladores han consultado al promotor o directamente el promotor ha recomendado implementar. Estas medidas tratan de abordar posibles impactos en los factores de riesgo que según conocemos pueden afectar al realizar proyectos de instalaciones fotovoltaicas.

Los resultados presentados, indican utilizar la APV (agro-voltaica) como medida de alto valor añadido, la posibilidad de obtener un mayor aprovechamiento del suelo fomentando la colaboración de dos economías, agricultura y energía fotovoltaica ambas de la mano para equilibrar el balance tecnológico con la protección de las aves esteparias.

Cabe destacar, la necesidad de añadir nuevos parámetros a tener en cuenta en el dimensionamiento de la instalación fotovoltaica, por ejemplo, la altura, orientación y tipología de módulos juegan un papel

fundamental para lograr un balance adecuado entre las sombras sometidas a los campos de cultivo y una producción energética adecuada.

Ejecutada la simulación en PVsyst es apreciable que la instalación puede ser dimensionada para ofrecer un resultado productivo energético razonable comparándolo con sistemas tradicionales instalados en el suelo.

El estudio denota la importancia de un enfoque multidisciplinario para abordar los desafíos, colaboración entre cultivo y producción eléctrica conservando la biodiversidad y regulación ambiental para fomentar un desarrollo plenamente sostenible.

Aunque la alternativa basada en APV supone un mayor coste de capital inicial, la inversión final debe evaluarse teniendo en cuenta aspectos cualitativos como el desarrollo sostenible según hemos comentado y aspectos cuantitativos teniendo en cuenta el rendimiento económico que produzcan los cultivos localizados en el uso del suelo agrícola.

11. BIBLIOGRAFÍA

- [1] MITECO, «ESTRATEGIA DE CONSERVACIÓN DE AVES AMENAZADAS LIGADAS A MEDIOS AGRO-ESTEPARIOS EN ESPAÑA», Madrid, 2022.
- [2] A. Sánchez, «Las aves rapaces y esteparias frenan una macroplanta solar en Murcia», 30 de enero de 2023. <https://www.laopiniondemurcia.es/comunidad/2023/01/30/aves-rapaces-esteparias-frenan-macroplanta-82212498.html> (accedido 16 de agosto de 2023).
- [3] Ecologistas en acción, «La multiplicación de proyectos fotovoltaicos amenaza la supervivencia de las aves esteparias en la Comunidad de Madrid», 24 de agosto de 2022. <https://www.ecologistasenaccion.org/206704/la-multiplicacion-de-proyectos-fotovoltaicos-amenaza-la-supervivencia-de-las-aves-esteparias-en-la-comunidad-de-madrid/> (accedido 16 de agosto de 2023).
- [4] «La fotovoltaica tendrá que pagar a los agricultores por cuidar el hábitat de las aves en peligro de extinción». <https://www.eleconomista.es/actualidad/noticias/12370122/07/23/la-fotovoltaica-tendra-que-pagar-a-los-agricultores-por-cuidar-el-habitat-de-las-aves-en-peligro-de-extincion.html> (accedido 12 de septiembre de 2023).
- [5] «Los proyectos de energía solar en suelo son una doble oportunidad para la biodiversidad | Comunicación | UNEF». <https://www.unef.es/es/comunicacion/comunicacion-post/los-proyectos-de-energia-solar-en-suelo-son-una-doble-oportunidad-para-la-biodiversidad> (accedido 12 de septiembre de 2023).
- [6] MITECO, «Directrices de ordenación de los recursos naturales». https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/conservacion-de-la-biodiversidad/conservacion-de-la-biodiversidad-en-espana/cb_esp_directrices_ordenacion_recursos_naturales.html (accedido 16 de agosto de 2023).
- [7] MITECO, Subdirección General de Biodiversidad Terrestre y Marina, y Tragsatec, «Natura 2000», 2023.
- [8] MITECO, «Red Natura 2000: Cartografía». https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/rednatura_2000_desc.html (accedido 16 de agosto de 2023).
- [9] Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental, *BOE-A-2022-8803 Resolución de 18 de mayo de 2022, de la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental, por la que se formula declaración de impacto ambiental del proyecto «Plantas fotovoltaicas Centaurus IV, de 119 MWp y 74,22 MWn, Centaurus V, de 119 MWp y 74,22 MWn, y Centaurus VI, de 119,75 MWp y 74,22 MWn, y su infraestructura de evacuación, en la provincia de Zaragoza»*. 2022. Accedido: 16 de

- agosto de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2022-8803
- [10] Dirección General de Política Energética y Minas, *BOE-A-2023-51 Resolución de 20 de diciembre de 2022, de la Dirección General de Política Energética y Minas, por la que se otorga a X-Elio Andaltia Murcia, SL, la autorización administrativa previa, para la instalación fotovoltaica Lorca Solar de 386,22 MWp y 339,1 MW de potencia instalada, la subestación eléctrica 30/132 kV, la línea aérea-subterránea a 132 kV, la subestación eléctrica 132/400 kV y la línea a 400 kV para evacuación de energía eléctrica, en Lorca y Totana (Murcia)*. 2022. Accedido: 16 de agosto de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2023-51
- [11] Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental, *BOE-A-2022-16008 Resolución de 20 de septiembre de 2022, de la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental, por la que se formula declaración de impacto ambiental del proyecto Instalación Fovovoltaica Lorca Solar de 339,075 MW de potencia nominal y su infraestructura de evacuación, en los términos municipales de Totana y Lorca (Murcia)*. 2022. Accedido: 16 de agosto de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2022-16008
- [12] LORCA SOLAR PV y CONSULTOR AMBIENTAL, «ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO BÁSICO DE INSTALACIÓN PARA LA CONEXIÓN DE UNA PLANTA FOTOVOLTAICA DE 332,64 MW EN ZARCILLA DE RAMOS, (LORCA, MURCIA) Y ANTEPROYECTO MODIFICADO DE L.A.A.T. S/C 400 Kv “LORCA SOLAR PV”, EN LOS TT.MM. DE LORCA, TOTANA Y ALEDO (MURCIA)».
- [13] Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental, *BOE-A-2022-13887 Resolución de 9 de agosto de 2022, de la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental, por la que se formula declaración de impacto ambiental del proyecto «Parque solar fotovoltaico “FV Herrera Solar 1” de 51 MWp/40 MWn, y su infraestructura de evacuación, en Páramo de Boedo y Herrera de Pisuerga (Palencia)»*. 2022. Accedido: 16 de agosto de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2022-13887
- [14] Onda Cero, «Una empresa proyecta una planta solar en Herrera que acogerá nidos para aves esteparias | Onda Cero Radio», 17 de enero de 2023. https://www.ondacero.es/emisoras/castilla-y-leon/palencia/noticias/empresa-proyecta-planta-solar-herrera-que-acogera-nidos-aves-esteparias_2023011763c6f0fff0501d000135b8be.html (accedido 16 de agosto de 2023).
- [15] «International Bank for Reconstruction and Development». <https://www.worldbank.org/en/who-we-are/ibrd> (accedido 16 de agosto de 2023).
- [16] M. Trommsdorff *et al.*, «Agrivoltaics: Opportunities for Agri-culture and the Energy Transition», abr. 2022. Accedido: 16 de agosto de 2023. [En línea]. Disponible en: www.ise.fraunhofer.de
- [17] M. Trommsdorff, I. S. Dhal, Ö. E. Özdemir, D. Ketzler, N. Weinberger, y C. Rösch, «Agrivoltaics: solar power generation and food production», *Solar Energy Advancements in Agriculture and Food Production Systems*, pp. 159-210, ene. 2022, doi: 10.1016/B978-0-323-89866-9.00012-2.
- [18] A. Scognamiglio, «‘Photovoltaic landscapes’: Design and assessment. A critical review for a new transdisciplinary design vision», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 55, pp. 629-661, mar. 2016, doi: 10.1016/J.RSER.2015.10.072.
- [19] «Solar price index & Solar module price development». <https://www.pvxchange.com/price-index> (accedido 16 de agosto de 2023).
- [20] P. E. Campana, B. Stridh, S. Amaducci, y M. Colauzzi, «Optimisation of vertically mounted agrivoltaic systems», *J Clean Prod*, vol. 325, p. 129091, nov. 2021, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2021.129091.
- [21] «PVsyst – Logiciel Photovoltaïque». <https://www.pvsyst.com/> (accedido 15 de julio de 2023).
- [22] «174».
- [23] «IBA 173». <https://www.seguimientodeaves.org/especios/subfConsultasEspacio.php?CONTROL=1&CAPA=4&OK=1&COD=173&DEN=&ID=1705> (accedido 16 de agosto de 2023).

12. ANEXOS

12.1. Informe de simulación instalación FV en Almendricos con PVsyst



Version 7.4.0

PVsyst - Simulation report

Grid-Connected System

Project: Almenedricos V2

Variant: Nueva variante de simulación

Sheds, single array

System power: 9220 kWp

Almendricos - Spain



PVsyst V7.4.0

VC0, Simulation date:
08/14/23 13:59
with v7.4.0

Project: Almenedricos V2
Variant: Nueva variante de simulación

Project summary			
Geographical Site Almenedricos España	Situation		
	Latitude	37.47 °N	Project settings Albedo 0.20
	Longitude	-1.77 °W	
	Altitude	309 m	
Time zone	UTC+1		
Meteo data Rincón y las Ramblicas Meteonorm 8.1 (1996-2015), Sat=100% - Sintético			

System summary			
Grid-Connected System	Sheds, single array		
PV Field Orientation	Near Shadings	User's needs	
Fixed plane	According to strings	Unlimited load (grid)	
Tilt/Azimuth 34.8 / 0 °	Electrical effect 100 %		
System information			
PV Array		Inverters	
Nb. of modules	28812 units	Nb. of units	15 units
Pnom total	9220 kWp	Pnom total	7500 kWac
		Pnom ratio	1.229

Results summary			
Produced Energy	18410084 kWh/year	Specific production	1997 kWh/kWp/year
		Perf. Ratio PR	95.40 %

Table of contents	
Project and results summary	2
General parameters, PV Array Characteristics, System losses	3
Near shading definition - Iso-shadings diagram	5
Main results	6
Loss diagram	7
Predef. graphs	8
Single-line diagram	9



Project: Almenedricos V2

Variant: Nueva variante de simulación

PVsyst V7.4.0

VC0, Simulation date:
08/14/23 13:59
with v7.4.0

Array losses

Thermal Loss factor

Module temperature according to irradiance
Uc (const) 20.0 W/m²K
Uv (wind) 0.0 W/m²K/m/s

DC wiring losses

Global array res. 0.81 mΩ
Loss Fraction 1.5 % at STC

Module Quality Loss

Loss Fraction -0.8 %

Module mismatch losses

Loss Fraction 2.0 % at MPP

Strings Mismatch loss

Loss Fraction 0.2 %

IAM loss factor

Incidence effect (IAM): Fresnel smooth glass, n = 1.526

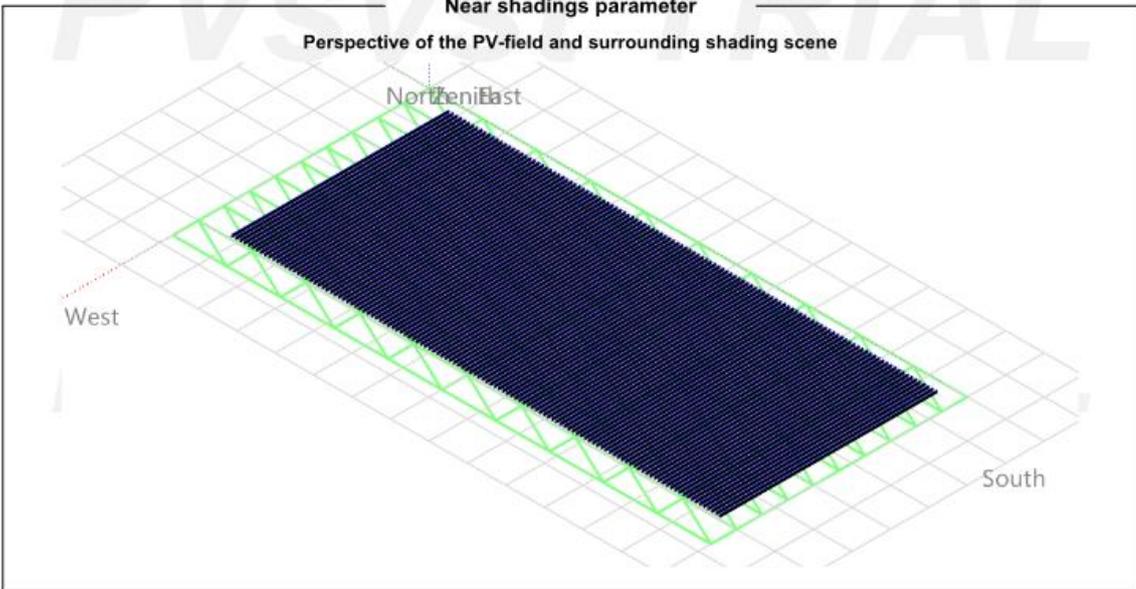
0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.998	0.981	0.948	0.862	0.776	0.636	0.403	0.000



PVsyst V7.4.0
VC0, Simulation date:
08/14/23 13:59
with v7.4.0

Near shadings parameter

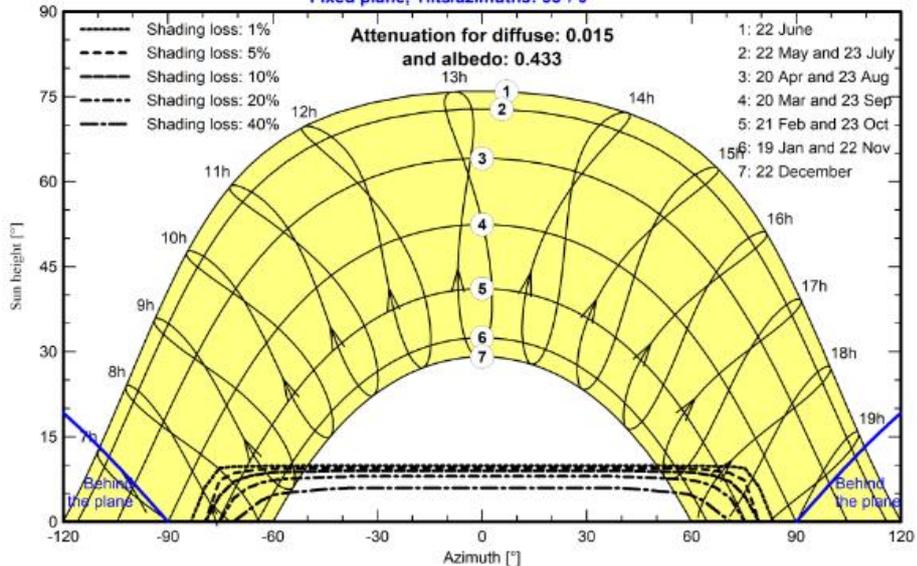
Perspective of the PV-field and surrounding shading scene



Iso-shadings diagram

Orientation #1

Fixed plane, Tilts/azimuths: 35°/0°





Project: Almenedricos V2
 Variant: Nueva variante de simulación

PVsyst V7.4.0
 VC0, Simulation date:
 08/14/23 13:59
 with v7.4.0

Main results

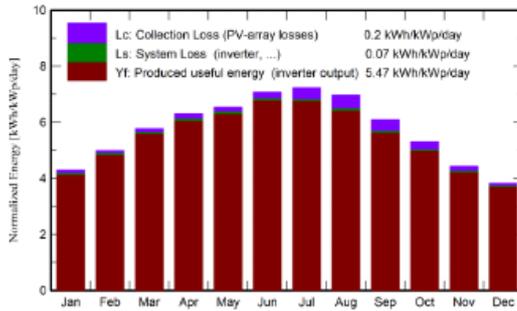
System Production

Produced Energy 18410084 kWh/year

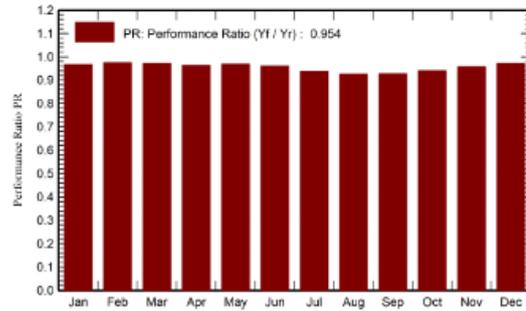
Specific production
 Perf. Ratio PR

1997 kWh/kWp/year
 95.40 %

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR



Balances and main results

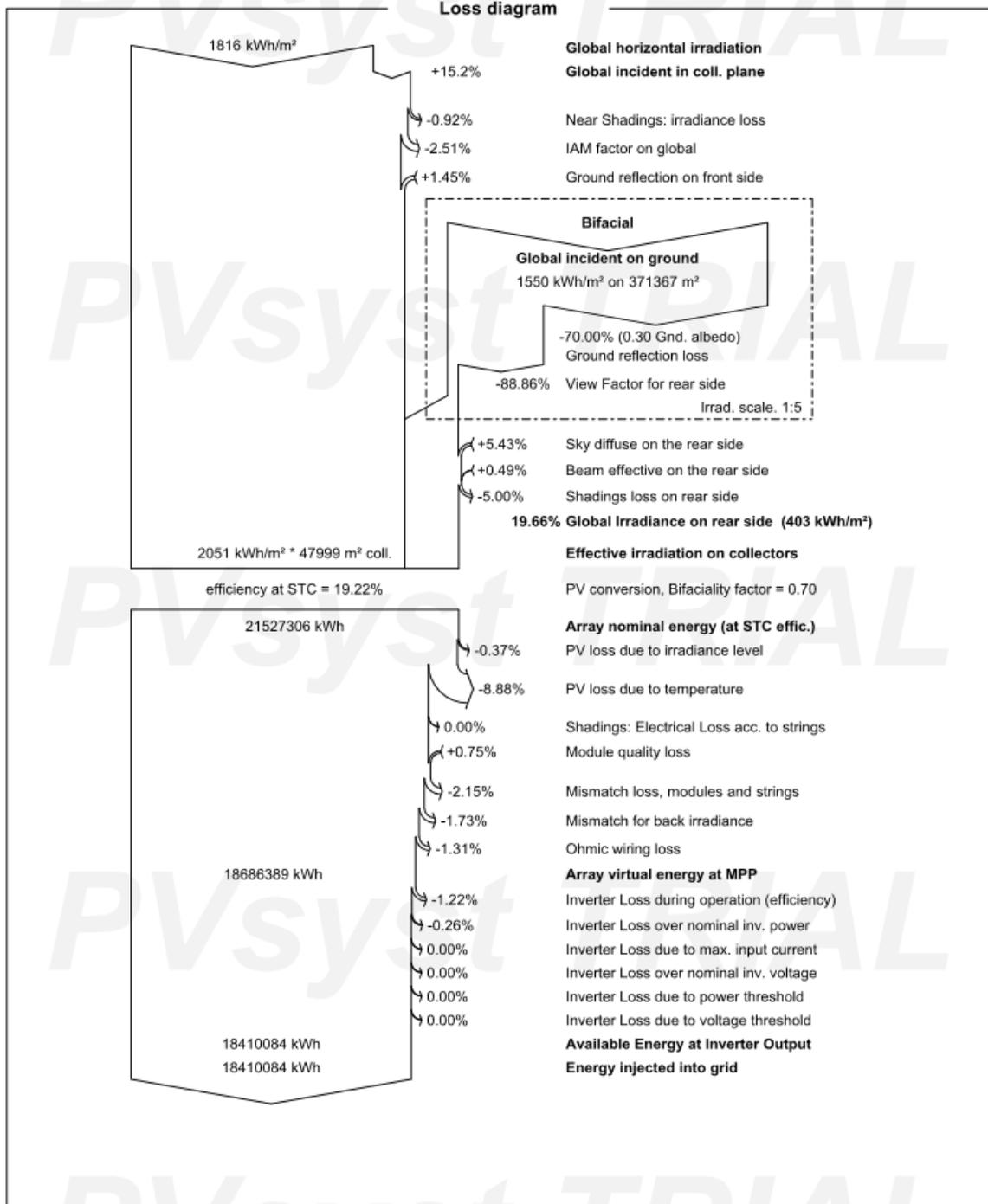
	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray kWh	E_Grid kWh	PR ratio
January	78.8	27.19	10.33	133.1	131.1	1200492	1185872	0.966
February	96.3	36.31	11.60	139.6	137.5	1269401	1253619	0.974
March	144.4	56.99	14.53	178.7	175.2	1621194	1601478	0.972
April	176.1	61.02	17.06	189.4	185.1	1702839	1681858	0.963
May	212.3	72.07	20.99	202.5	197.4	1829749	1807026	0.968
June	232.8	72.02	25.17	212.1	207.0	1902106	1879257	0.961
July	239.6	66.49	28.18	223.9	218.8	1961473	1937588	0.939
August	208.2	65.98	28.16	215.5	211.0	1863472	1840882	0.926
September	155.6	54.77	24.00	182.7	178.8	1580619	1561635	0.927
October	119.8	43.65	20.16	164.6	161.9	1444213	1426832	0.940
November	82.8	30.45	14.07	132.8	130.7	1187137	1172388	0.958
December	69.5	28.08	11.01	118.3	116.6	1075352	1061649	0.973
Year	1816.1	615.02	18.82	2093.0	2051.1	18638045	18410084	0.954

Legends

GlobHor	Global horizontal irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
DiffHor	Horizontal diffuse irradiation	E_Grid	Energy injected into grid
T_Amb	Ambient Temperature	PR	Performance Ratio
GlobInc	Global incident in coll. plane		
GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings		



PVsyst V7.4.0
VC0, Simulation date:
08/14/23 13:59
with v7.4.0





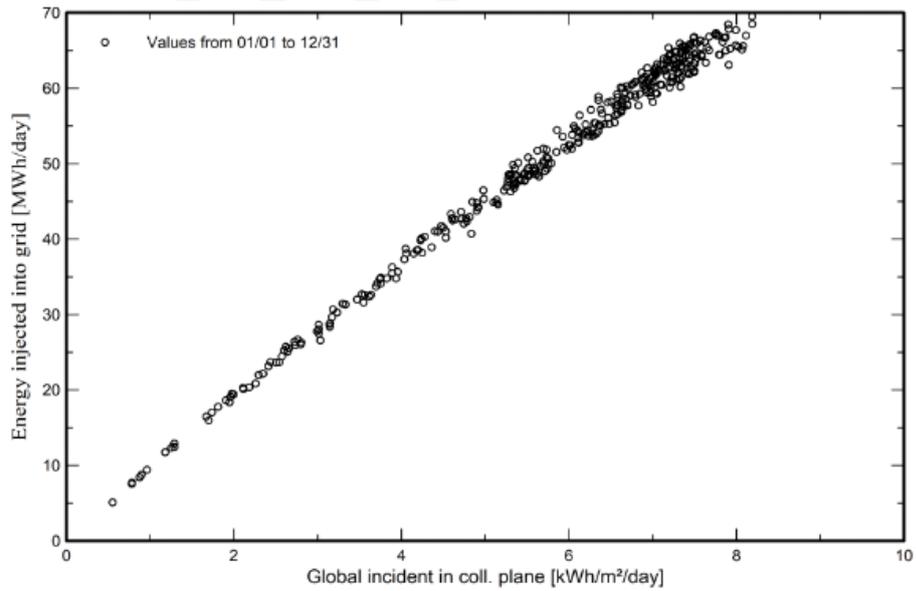
PVsyst V7.4.0

VC0, Simulation date:
08/14/23 13:59
with v7.4.0

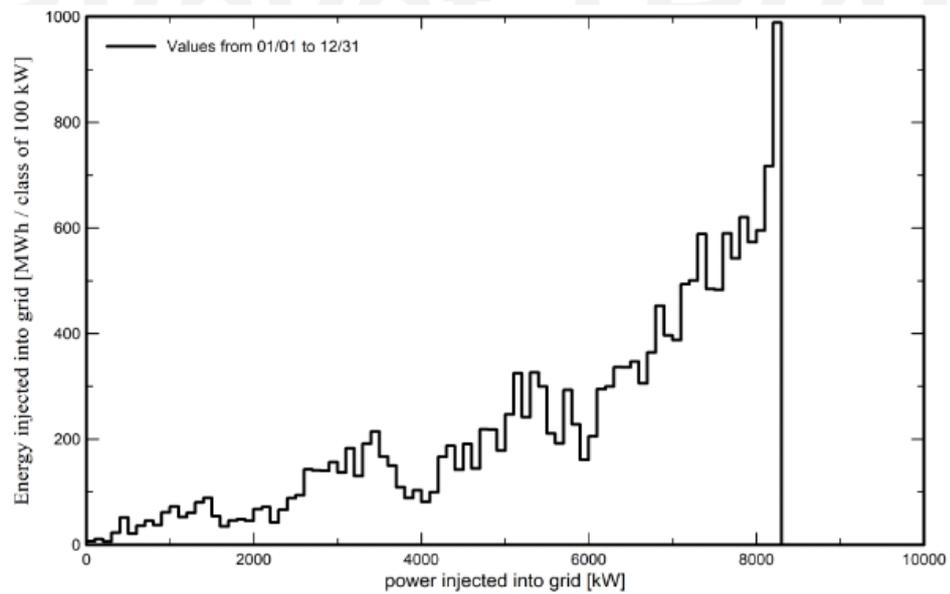
Project: Almenedricos V2
Variant: Nueva variante de simulación

Predef. graphs

Diagrama entrada/salida diaria



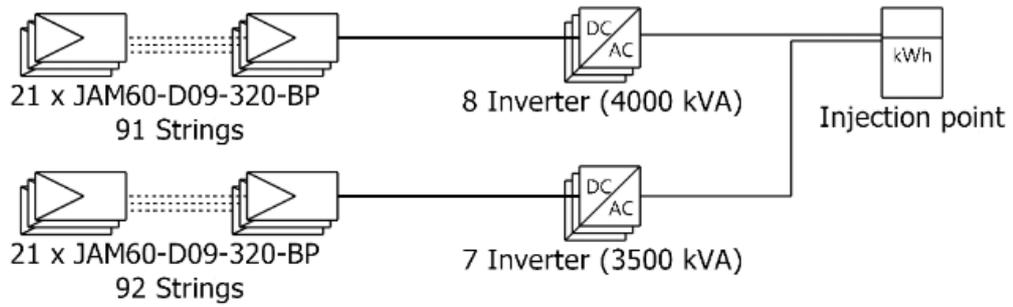
Distribución de potencia de salida del sistema





PVsyst V7.4.0
VC0, Simulation date:
08/14/23 13:59
with v7.4.0

Single-line diagram



PV module	JAM60-D09-320-BP
Inverter	EP-500-A TL
String	21 x JAM60-D09-320-BP

Almenedricos V2	
VC0 : Nueva variante de simulación	08/14/23

