

Guía de buenas prácticas en proyectos agrivoltaicos



Universitat
de les Illes Balears

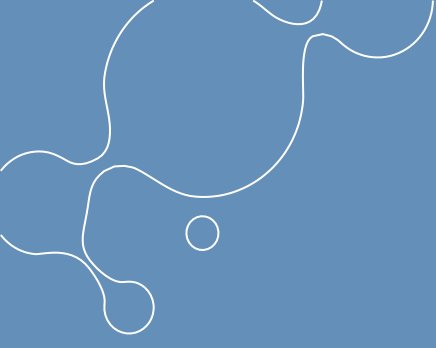




índice

1. Introducción, enfoque y proceso de trabajo.....	3
1.1. Contexto del proyecto y finalidad de la guía	4
1.2. Relación con los entregables previos del proyecto	4
1.3. Enfoque, validación y alcance del proyecto.....	5
2. Buenas prácticas identificadas fuera del territorio balear.....	6
2.1. Configuraciones y diseño operativo	7
2.1.1. Compromisos entre energía y cultivo.....	7
2.1.2. Diseño operativo: altura, accesos, maquinaria, sombras y O&M	8
2.2. Agronomía y agua: selección de cultivos, riego y manejo del microclima.....	10
2.2.1. Efectos microclimáticos de la agrivoltaica en climas mediterráneos: oportunidades y límites.....	10
2.2.2. Selección de cultivos en condiciones de sombreado y calor mediterráneo.....	11
2.2.3. Agua y riego	13
2.3. Ganadería y biodiversidad: integrar usos y mejorar servicios ecosistémicos.....	14
2.3.1. Ganadería	14
2.3.2. Biodiversidad: hábitat, polinizadores y suelo como parte del diseño.....	15
2.4. Economía, modelos de negocio, gobernanza y permisos	17
2.4.1. Modelos de negocio	17

2.4.2. Permisos y marcos regulatorios	18
2.4.3. Recomendaciones institucionales en España	19
2.4.3. Implicaciones para territorios insulares mediterráneos	20
3. Buenas prácticas identificadas en Baleares	22
3.1. Condicionantes baleares que deben orientar el emplazamiento y la viabilidad agronómica	23
3.2. Evidencias de casos locales y aprendizajes operativos.....	24
3.2.1. Parque agrivoltaico Son Moro (Sant Llorenç, Mallorca)	24
3.2.2. Planta fotovoltaica Sa Caseta, Lluçmajor, Mallorca	25
3.2.3. Comunitat Energètica de Llevant: tipología de proximidad y parámetros públicos de diseño.....	25
3.2.4. Parque agrisolar de Es Mercadal, Menorca	26
3.3. Selección de cultivos compatibles con sistemas agrivoltaicos ..	26
3.4. Gestión agronómica, rotaciones y mantenimiento del suelo.....	27
3.5. Integración de ganadería extensiva para la gestión del sistema	27
3.6. Necesidad de herramientas de simulación adaptadas a la agrivoltaica	28
4. Líneas futuras de trabajo e innovación	30
5. Conclusiones	33
6. Bibliografía	35



1. Introducción, enfoque y proceso de trabajo

1.1. Contexto del proyecto y finalidad de la guía

El presente documento se enmarca en el proyecto de investigación desarrollado durante el año 2025, ATERRA, centrado en el análisis de la integración de la producción de alimentos sostenible y la generación de energía renovable en el contexto del sector turístico de las Illes Balears. El proyecto ha abordado esta cuestión desde una perspectiva analítica, considerando la elevada presión sobre el territorio, la dependencia energética del exterior y la estacionalidad de la demanda asociada al turismo como condicionantes estructurales del sistema balear [1].

En este contexto, la agrivoltaica —entendida como la coexistencia de sistemas fotovoltaicos y actividades agrícolas en una misma superficie— se identifica como una opción con potencial para optimizar el uso del suelo y contribuir simultáneamente a los objetivos de transición energética y sostenibilidad del sector primario. No obstante, se trata de una solución emergente, con un grado de desarrollo desigual y con importantes incertidumbres técnicas, agronómicas, económicas y normativas, especialmente en territorios insulares [2].

La finalidad de esta guía de buenas prácticas es sintetizar los aprendizajes obtenidos a lo largo del proyecto y traducirlos en orientaciones útiles para futuros desarrollos, iniciativas piloto y procesos de toma de decisiones. La guía pretende recoger de forma estructurada aquellas consideraciones que pueden resultar relevantes para administraciones públicas, agentes del sector energético y agrícola, y otros actores interesados en el desarrollo de soluciones agrivoltaicas en Baleares.

1.2. Relación con los entregables previos del proyecto

La presente guía se apoya directamente en los resultados y conclusiones de los entregables desarrollados en las fases previas del proyecto (Disponibles en <https://clusterteib.es/recursos-cteib/#informes>). En particular, el proyecto ha generado:

- Un diagnóstico de la demanda de recursos del sector turístico, que analiza las necesidades energéticas y alimentarias asociadas al modelo turístico balear [3].
- Un estado del arte sobre la agrivoltaica, que revisa la literatura científica y técnica existente, así como experiencias nacionales e internacionales [4].

- Un análisis técnico, económico y ambiental (ACV) de distintos escenarios teóricos de integración agrivoltaica adaptados al contexto insular [5].

Estos documentos proporcionan el marco analítico y los fundamentos técnicos del proyecto, mientras que la presente guía se concibe como un documento de síntesis aplicada, orientado a extraer implicaciones prácticas y estratégicas a partir de dichos resultados. Por este motivo, cuando se hace referencia a conceptos técnicos, agronómicos o normativos ya tratados en los entregables anteriores, estos se mencionan de forma resumida y contextual, remitiendo implícitamente a los análisis previamente realizados.

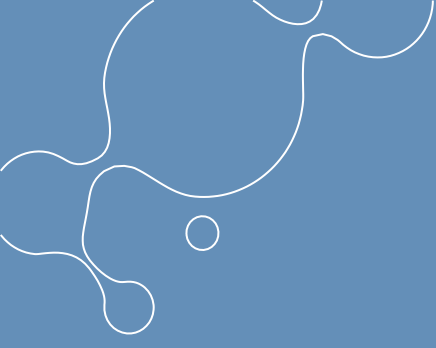
1.3. Enfoque, validación y alcance del proyecto

El enfoque adoptado para la elaboración de esta guía responde al carácter analítico y exploratorio del proyecto y se basa en la interpretación integrada de los resultados obtenidos, complementada con la revisión de literatura técnica, científica e institucional de referencia. Este enfoque ha permitido contextualizar los aprendizajes del proyecto en relación con el desarrollo de la agrivoltaica en entornos mediterráneos e insulares, así como identificar patrones, condicionantes y aspectos críticos relevantes para el contexto balear [1].

De forma complementaria, el proyecto ha incorporado la validación cualitativa de una experiencia real de agrivoltaica desarrollada en Mallorca, a partir del testimonio de un agente del sector con experiencia directa en la planificación y ejecución de un proyecto piloto. Esta aportación ha permitido contrastar los resultados del análisis documental y teórico con consideraciones prácticas derivadas de una implementación real, aportando una visión aplicada y contextualizada al análisis.

La combinación de análisis propio, conocimiento externo contrastado y experiencia práctica ha permitido formular orientaciones coherentes con el estado actual de desarrollo de la agrivoltaica, reforzando la solidez de las buenas prácticas identificadas y evitando depender exclusivamente de enfoques teóricos o de experiencias descontextualizadas. No obstante, las orientaciones recogidas en esta guía deben interpretarse en coherencia con el alcance del proyecto y con el carácter exploratorio de la investigación desarrollada.

Asimismo, el marco normativo y administrativo asociado a la agrivoltaica se encuentra aún en evolución, lo que refuerza la necesidad de abordar estas soluciones desde una perspectiva flexible y progresiva.



2. Buenas prácticas identificadas fuera del territorio balear

2.1. Configuraciones y diseño operativo

En contexto mediterráneo, la elección de configuración determina el microclima, la mecanización posible, el riesgo hídrico y la viabilidad económica del proyecto. En la práctica, las tipologías más relevantes para Baleares suelen agruparse en: (a) estructura elevada (cultivo bajo paneles, tipo “pérgola”), (b) estructura baja (cultivo entre filas, con pérdidas de superficie y restricciones de acceso), y (c) sombreado dinámico con seguidores (ajuste del ángulo/posición para modular luz y estrés según fenología) [6][7].

2.1.1. Compromisos entre energía y cultivo

Las experiencias internacionales en el ámbito de la agrivoltaica coinciden en la necesidad de evaluar de forma objetiva el equilibrio entre producción energética y rendimiento agrícola, evitando planteamientos basados únicamente en declaraciones de compatibilidad. Para ello, se han desarrollado distintos indicadores que permiten analizar la productividad conjunta del sistema y los compromisos asociados a su diseño.

Uno de los indicadores más utilizados es el Land Equivalent Ratio (LER), que permite comparar la productividad combinada de un sistema agrivoltaico frente a la producción separada de energía y cultivos. Un valor de LER superior a 1 indica una ventaja en términos de uso del suelo al integrar ambas actividades [8]. De forma complementaria, se emplean indicadores de diseño como el Ground Coverage Ratio (GCR), que relaciona la superficie ocupada por los módulos fotovoltaicos con la superficie total del terreno y actúa como un indicador indirecto del grado de sombreado y del margen disponible para la actividad agrícola.

No obstante, diversos análisis técnicos advierten que optimizar un único indicador de forma aislada puede conducir a configuraciones poco deseables, por ejemplo, incrementando artificialmente el LER a costa de reducir simultáneamente el rendimiento agrícola y energético o de aumentar de forma significativa los costes operativos. Por este motivo, se considera una buena práctica combinar indicadores de productividad con umbrales agronómicos mínimos, criterios económicos y evaluación de riesgos operativos [9].

Desde el punto de vista de la gobernanza técnica, varias regiones han optado por enfoques basados en desempeño medible, que resultan especialmente relevantes como referencia para Baleares. En Cataluña, por ejemplo, la regulación establece de forma simultánea la obligación de mantener actividad agraria durante toda la vida útil del proyecto, un rendimiento mínimo del cultivo del 60 % respecto a un valor de referencia histórico y límites máximos de pérdida de radiación por sombreado, además de restricciones sobre la superficie no utilizable debido a infraestructuras [7]. Este enfoque, basado en umbrales

verificables y métodos de referencia claros, constituye una buena práctica transferible, independientemente de los valores concretos que se adopten en cada territorio.

Francia ha avanzado un paso más en la definición y control de la agrivoltaica, incorporando criterios específicos en su marco normativo que vinculan la calificación de una instalación agrivoltaica al mantenimiento de una producción agrícola significativa, evaluada mediante comparaciones con superficies de referencia. Además, se establece un sistema formal de seguimiento y reporte periódico de datos energéticos y agrarios, lo que refuerza la transparencia y la rendición de cuentas a lo largo del ciclo de vida del proyecto[10][11][12].

En el caso de Italia, los esquemas de apoyo público condicionan el acceso a incentivos al cumplimiento de requisitos espaciales y de monitorización, como la dedicación de una proporción mínima de la superficie total a la actividad agrícola o ganadera y la incorporación de sistemas de seguimiento de parámetros relacionados con el uso del agua, el microclima o la fertilidad del suelo [13]. Esta aproximación pone de relieve la importancia de integrar la monitorización desde la fase de diseño, especialmente en contextos donde se prevé la intervención de fondos públicos o procesos de autorización sujetos a control posterior.

En conjunto, estas experiencias muestran que una buena práctica clave consiste en definir desde el inicio criterios claros, medibles y verificables que permitan gestionar de forma transparente los compromisos entre producción energética y actividad agrícola. Para Baleares, la adopción de enfoques basados en desempeño y monitorización puede contribuir a generar confianza institucional, reducir conflictos y facilitar el desarrollo ordenado de futuras iniciativas agrivoltaicas.

2.1.2. Diseño operativo: altura, accesos, maquinaria, sombras y O&M

Las experiencias en agrivoltaica en contextos mediterráneos muestran que muchos proyectos presentan dificultades operativas no por limitaciones tecnológicas, sino por decisiones de diseño que no tienen suficientemente en cuenta la operativa agrícola y el mantenimiento real de las instalaciones fotovoltaicas. Dos causas se repiten de forma recurrente: la incompatibilidad con las labores agrarias habituales (anchos de trabajo, radios de giro, poda, recolección o logística) y la subestimación de los costes y condicionantes asociados a la operación y mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos en entornos agrícolas [9].

La agrivoltaica introduce una mayor interacción entre la actividad agrícola y la instalación energética, lo que incrementa la exposición a factores como el polvo generado por las labores agrícolas, el uso de tratamientos fitosanitarios o la presencia de ambientes corrosivos. Estos factores pueden aumentar el ensuciamiento de los módulos, acelerar procesos de degradación y limitar la frecuencia de limpieza debido a restricciones de agua, especialmente en climas mediterráneos secos [9].

Desde el punto de vista normativo y técnico, algunas regiones han incorporado requisitos explícitos orientados a garantizar la operabilidad real de los sistemas. En Cataluña, por ejemplo, las directrices técnicas establecen criterios concretos en sistemas elevados, como una altura libre mínima para el paso de maquinaria agrícola, y exigen que las estructuras no impidan las prácticas agrarias habituales ni la mecanización. En sistemas de menor altura, se introducen además criterios para limitar la superficie no utilizable y gestionar adecuadamente la escorrentía y la erosión del suelo [7]. Este tipo de requisitos constituye una buena práctica replicable como lista de verificación técnica en fases de diseño.

La experiencia internacional pone también de relieve la importancia de considerar el ensuciamiento de los módulos (soiling) como un riesgo económico relevante. Estudios en regiones de clima mediterráneo seco, como Chile central, muestran pérdidas de rendimiento significativas en ausencia de lluvia o limpieza periódica, especialmente cuando la actividad agrícola incrementa la presencia de polvo en el entorno [14]. Aunque las condiciones de Baleares no reproducen todos los factores de estos contextos continentales, sí comparten dos elementos críticos: la limitación de recursos hídricos para limpieza y la sensibilidad del modelo económico a pérdidas de rendimiento sostenidas. Por ello, el diseño debe prever accesos adecuados, inclinaciones apropiadas y protocolos de limpieza compatibles con la disponibilidad real de agua [9].

Algunas experiencias mediterráneas avanzadas incorporan, además, sistemas de operación dinámica del sombreado, utilizando seguidores solares, sensores y herramientas de simulación para ajustar el comportamiento del sistema a las necesidades del cultivo y a las condiciones climáticas. Este enfoque permite superar el planteamiento de sombreado fijo y convertir la agrivoltaica en un sistema gestionado activamente, especialmente relevante cuando se trabaja con cultivos sensibles a déficits de radiación en invierno o a estrés térmico en verano [15].

Finalmente, los informes prospectivos destacan la necesidad de tratar la agrivoltaica como una actividad diferenciada, incorporando desde el inicio una evaluación específica de costes de inversión y operación, así como métricas conjuntas agrarias y energéticas, y considerando

aspectos normativos y de aceptación social como parte del diseño del proyecto.

Ámbito	Buena práctica	Aplicación práctica
Diseño agrario	Priorizar las operaciones agrarias reales en el diseño	Definir anchos de calles, radios de giro, altura libre y accesos de maquinaria antes de fijar la densidad fotovoltaica
Diseño fotovoltaico	Ajustar la densidad de módulos al uso agrícola	Modular separación entre filas y altura de estructuras para compatibilizar sombra y mecanización
Evaluación técnica	Utilizar métricas conjuntas agrarias y energéticas	Incorporar indicadores como productividad conjunta, sombreado y superficie agraria efectiva en el anteproyecto
Operación y mantenimiento	Planificar la gestión del ensuciamiento (soiling)	Diseñar accesos, inclinaciones y protocolos de limpieza adaptados a periodos secos y disponibilidad de agua
Suelo y obra civil	Minimizar sellado y compactación del suelo	Evitar soleras de hormigón innecesarias y reducir tránsito pesado fuera de viales definidos
Operación	Separar viales FV y calles de cultivo	Definir recorridos diferenciados para O&M y para labores agrícolas
Sistemas avanzados	Integrar operación agronómica en sistemas dinámicos	Presupuestar sensores, algoritmos y protocolos cuando se utilicen seguidores o sombreado dinámico
Seguimiento	Implantar monitorización agraria y energética conjunta	Registrar rendimiento agrícola, radiación, energía producida y condiciones de riego

Tabla 1. Buenas prácticas accionables en el diseño operativo de sistemas agrivoltaicos.
Fuente: [7][8][9][11][13][15].

2.2. Agronomía y agua: selección de cultivos, riego y manejo del microclima

2.2.1. Efectos microclimáticos de la agrivoltaica en climas mediterráneos: oportunidades y límites

La evidencia empírica disponible en regiones de clima mediterráneo, caracterizadas por altas temperaturas y periodos prolongados de sequía, muestra que los sistemas agrivoltaicos generan modificaciones microclimáticas consistentes y medibles. De forma recurrente, los estudios de campo documentan reducciones de la radiación neta incidente, de la velocidad del viento y de la evapotranspiración de referencia (ET_0), así como descensos de la temperatura del suelo y mejoras en el estado hídrico del sistema suelo-cultivo.

En Grecia, un estudio realizado en una instalación fotovoltaica con cultivos aromáticos (tomillo, orégano y *Greek mountain tea*) observó, en la zona situada entre filas de módulos, una reducción de la radiación neta del 44 % y de la velocidad del viento del 38 %. Estas condiciones se tradujeron en una disminución de la ET_0 acumulada del 29 % y en una reducción de la temperatura media del suelo del 8 %, junto con un incremento del potencial hídrico del suelo del 34 %. En términos productivos, el crecimiento de las plantas no mostró diferencias significativas respecto a parcelas de control, salvo una mejora del peso en el caso del orégano [16].

Para Baleares, estos resultados apoyan una buena práctica agronómica clara: en contextos de estrés térmico e hídrico, cultivos mediterráneos adaptados pueden mantener su producción bajo condiciones de sombreado moderado, beneficiándose de una mejora de la resiliencia hídrica sin penalizaciones relevantes de rendimiento.

En frutales, la evidencia mediterránea subraya, sin embargo, la importancia de no exceder determinados umbrales de sombreado. En un manzano 'Golden Delicious' en el sur de Francia bajo sistema dinámico, con sombreado medio del 50–55% (variable 4–88%), se reportan reducciones de temperatura del aire ($-3,8^{\circ}\text{C}$) y aumento de humedad relativa (+14%), y descensos de riego entre 6% y 31% según campaña; sin embargo, también se documentan impactos sobre fotosíntesis, reservas y floración, y se concluye que la estrategia probada no mantuvo rendimientos suficientes durante los tres años, destacando la necesidad de estudios multianuales y de ajustar la intensidad/temporalidad del sombreado [6]. En Baleares, esto se traduce en buena práctica: en perennes (almendro, olivo, viña, frutales), el diseño debe optimizar calidad, estabilidad y reducción de golpes de calor, pero con guardarraíles para no penalizar carga/rendimiento a medio plazo [17].

Complementariamente, la modelización agronómica para lechuga irrigada en el área mediterránea de Montpellier sugiere que se puede mejorar simultáneamente eficiencia de uso del suelo y productividad hídrica reduciendo riego en torno a un 20% aceptando una penalización del rendimiento (o ajustando el ciclo de cultivo), lo que refuerza la idea de que el manejo de riego y el diseño del sombreado deben optimizarse entre sí [17][16].

2.2.2. Selección de cultivos en condiciones de sombreado y calor mediterráneo

Con el fin de convertir estas dinámicas en buenas prácticas transferibles, se recomienda adoptar un enfoque basado en familias funcionales de cultivos, que permita identificar respuestas comunes al sombreado y a las modificaciones microclimáticas inducidas por

sistemas agrivoltaicos. La evidencia procedente de guías mediterráneas y de estudios de campo y modelización apunta a la existencia de patrones robustos y recurrentes en este tipo de sistemas:

- Hortícolas de hoja y cultivos de ciclo fresco (como lechuga, espinaca o algunas *brassicas*) muestran, en general, una buena tolerancia a reducciones moderadas de radiación, especialmente cuando el sombreado coincide con periodos de altas temperaturas. En estos casos, la reducción del estrés térmico y de la evapotranspiración puede compensar la menor radiación incidente, contribuyendo a mantener rendimientos estables y a mejorar la eficiencia en el uso del agua [17].
- Aromáticas y medicinales mediterráneas, como tomillo u orégano, presentan también un comportamiento favorable en sistemas agrivoltaicos, especialmente en condiciones cálidas y secas. Diversas experiencias muestran que estos cultivos pueden mantener su crecimiento e incluso mejorar la producción de biomasa bajo sombreado entre filas fotovoltaicas, en gran medida debido a la reducción del estrés climático y a una mayor estabilidad del microclima [16].
- En el caso de los cultivos leñosos y la viña, el principal potencial de la agrivoltaica no reside tanto en incrementos automáticos del rendimiento, sino en la mejora de la calidad del producto y de la resiliencia frente al cambio climático. La reducción de daños por golpe de sol, el alivio del estrés hídrico y la protección frente a eventos extremos son beneficios recurrentes, siempre que el sombreado se ajuste cuidadosamente a la fenología del cultivo y a los objetivos productivos. La buena práctica en estos sistemas consiste en monitorizar de forma continuada los efectos sobre la carga, la alternancia y la estabilidad del rendimiento a medio plazo [17].
- Bayas y kiwi: ejemplos regulatorios asumen mayor tolerancia al sombreado, permitiendo umbrales de reducción de radiación superiores [7].
- Cultivos muy demandantes de luz (muchos cereales o algunos hortícolas de fruto en periodos de baja radiación): el riesgo de caída de rendimiento aumenta si el sombreado es alto o coincide con fases críticas; aquí la buena práctica es usar configuraciones de baja densidad FV, sombreado dinámico o limitar el objetivo agrivoltaico a periodos/horarios de estrés [9].

Desde un punto de vista operativo, una buena práctica consiste en traducir el concepto de “sombreado” a decisiones agronómicas concretas, en lugar de tratarlo como un parámetro abstracto de diseño. En la práctica, esto implica responder a dos cuestiones clave: cuánta radiación fotosintéticamente activa (PAR) se transmite al cultivo, y en

qué momentos del ciclo productivo, y cómo esta modificación de la radiación afecta a la demanda de riego y al balance hídrico del sistema.

Por eso, resulta relevante que algunas instrucciones técnicas no solo exijan rendimiento mínimo, sino cuantificar la pérdida de radiación con medidas (radiometría o luxometría) durante el ciclo de cultivo [7]. En Baleares, esta práctica es especialmente pertinente en cultivos con ventanas de baja radiación (invierno) o en explotaciones donde el riego es el coste crítico.

2.2.3. Agua y riego

En contextos mediterráneos, la gestión del agua constituye un factor crítico de viabilidad para los sistemas agrivoltaicos. La reducción de la evapotranspiración asociada al sombreado no puede tratarse como un efecto colateral, sino que debe incorporarse de forma explícita en la estrategia hídrica y agronómica del proyecto, dado que el riego condiciona tanto la productividad agrícola como, en muchos casos, el propio modelo económico de la explotación.

La experiencia acumulada en regiones mediterráneas señala tres prácticas de alto valor que se repiten de forma consistente. En primer lugar, la programación del riego en función de la demanda real del cultivo, apoyada en sensores de humedad del suelo, temperatura y variables microclimáticas, permite capturar los beneficios de la reducción de evotranspiración permitiendo ajustar la programación del riego y evitar tanto déficits hídricos como aportes excesivos de agua. En segundo lugar, resulta clave una gestión adecuada de la escorrentía y de la erosión, especialmente en zonas donde la concentración de agua bajo los módulos puede generar encharcamientos o pérdida de suelo. En tercer lugar, la integración entre agua y energía —aprovechando la producción fotovoltaica para el bombeo, el control del riego y otros consumos asociados— se consolida como una buena práctica para reducir el coste marginal del agua.

Los marcos regulatorios avanzados tienden a institucionalizar estas prácticas: Italia vincula incentivos a monitorización que incluye “ahorro hídrico” y microclima [13], y Francia exige reportes anuales que incluyen condiciones agrícolas como riego [11]. A escala de diseño de detalle, Cataluña exige sistemas de recogida de pluviales en ciertos casos para evitar encharcamiento/erosión y recomienda medidas de conservación de suelo [7].

La comparación con Chile central ilustra una vía directamente transferible a Baleares: proyectos agrivoltaicos en frutales se plantean explícitamente para alimentar el sistema de riego con energía FV y generar ingresos adicionales por excedentes, además de monitorizar consumo hídrico y resiliencia a eventos extremos [18]. Esta lógica es

especialmente pertinente en territorios insulares donde el coste energético del riego (bombeo, control) puede ser determinante.

Ámbito	Buena práctica	Aplicación práctica
Selección de cultivos	Seleccionar cultivos por su comportamiento bajo sombreado	Priorizar hortícolas de hoja y de ciclo fresco, aromáticas mediterráneas y cultivos perennes orientados a calidad y resiliencia; evitar sobredensidad fotovoltaica en cultivos muy demandantes de luz sin estrategias dinámicas
Diseño agronómico	Diseñar con objetivos de radiación (PAR) por fase fenológica	Ajustar el sombreado a cada fase del cultivo; en sistemas con seguidores, definir protocolos específicos frente a estrés térmico u olas de calor
Evaluación agronómica	Establecer referencias agronómicas para evaluar impactos	Definir parcelas testigo o rendimientos históricos locales para comparar el efecto real del sombreado
Gestión del riego	Ajustar la programación del riego a la reducción de ET	Utilizar sensores de humedad del suelo y microclima para recalibrar dosis y frecuencia; documentar ahorros de agua y efectos sobre la calidad
Gestión del agua y suelo	Controlar escorrentía y erosión bajo los módulos	Incorporar drenajes dirigidos, cubiertas vegetales y, cuando proceda, sistemas de recogida de aguas pluviales
Obra y desmantelamiento	Evitar compactación y degradación del suelo	Emplear maquinaria de baja compactación y planificar trabajos fuera de periodos húmedos
Seguimiento y control	Incluir indicadores agrícolas e hídricos en el plan de explotación	Monitorizar ahorro hídrico, variables microclimáticas y continuidad de la actividad agraria, alineado con esquemas de incentivos y control
Integración agua-energía	Integrar energía fotovoltaica y riego.	Utilizar la producción FV para bombeo y control del riego, y valorar excedentes energéticos; incorporar monitorización agronómica desde el inicio

Tabla 2. Buenas prácticas accionables en la gestión del agua y el riego en sistemas agrivoltaicos. Fuente: [7] [10][11][13][15][17][16][18][19].

2.3. Ganadería y biodiversidad: integrar usos y mejorar servicios ecosistémicos

2.3.1. Ganadería

En contextos mediterráneos, la integración de ganadería extensiva — especialmente ovina— puede desempeñar un papel operativo

relevante en instalaciones fotovoltaicas y, por extensión, en sistemas agrivoltaicos. La experiencia recogida en la literatura indica que el pastoreo controlado puede sustituir parcialmente tareas de desbroce mecánico, reducir costes de mantenimiento y reforzar la presencia de actividad agraria efectiva en el terreno, siempre que se planifique de forma coherente con el diseño de la planta y con la gestión de accesos y recorridos entre filas [16].

No obstante, la incorporación de ganado no debe abordarse como una solución automática. La instalación fotovoltaica continúa siendo una infraestructura eléctrica en operación, y la convivencia con animales y personas incrementa la exposición a riesgos que requieren una gestión específica. En este sentido, las guías sectoriales recomiendan integrar medidas de prevención desde la fase de diseño y explotación, incluyendo formación y señalización, coordinación entre los equipos de operación y mantenimiento (O&M) y la explotación agraria, y protocolos de seguridad adaptados a las tareas habituales en el recinto [20]. También se destaca la importancia de gestionar adecuadamente elementos críticos como cableado, zonas de equipos eléctricos y accesos, para minimizar incidencias derivadas de la presencia permanente de animales, trabajadores y maquinaria.

Algunas experiencias normativas aportan criterios de interés para evitar enfoques meramente nominales o “simbólicos”. El marco francés, por ejemplo, avanza hacia la evaluación de la “producción agrícola significativa” en sistemas con rumiantes mediante indicadores verificables (como es el caso de la biomasa forrajera, carga ganadera u otros parámetros vinculados al manejo), junto con obligaciones de seguimiento periódico. Este enfoque puede contribuir a reforzar la credibilidad de los proyectos y la confianza institucional, especialmente en territorios donde la aceptación social del uso del suelo es un factor determinante [6][11].

En conjunto, la evidencia disponible sugiere incorporar el pastoreo como una función de gestión planificada y evaluable, con requisitos técnicos y de seguridad definidos, y con una trazabilidad mínima de resultados que permita acreditar la actividad agraria y sus beneficios operativos.

2.3.2. Biodiversidad: hábitat, polinizadores y suelo como parte del diseño

Además de la compatibilidad agraria, diversos documentos y experiencias europeas coinciden en que la agrivoltaica puede contribuir a mejorar determinados indicadores de biodiversidad respecto a plantas fotovoltaicas convencionales, particularmente cuando se evitan superficies desnudas y se introducen cubiertas vegetales gestionadas. Entre las medidas citadas con mayor

frecuencia se encuentran el establecimiento de cubiertas florales o nectaríferas, la creación de microhábitats para polinizadores y el seguimiento básico de variables ecológicas como parte de la gestión del emplazamiento [20].

En el contexto balear, donde el paisaje y los valores ambientales influyen de forma significativa en la tramitación y en la percepción pública, resulta especialmente relevante que estas medidas se incorporen como criterios de diseño desde el inicio, y no únicamente como actuaciones compensatorias posteriores. La experiencia sugiere que integrar la biodiversidad como componente estructural del proyecto puede reducir conflictos, aportar coherencia territorial y reforzar la aceptación social [20][21].

No obstante, el manejo de cubiertas y la presencia de ganado también pueden generar efectos adversos si no se gestionan adecuadamente. En entornos mediterráneos, la compactación del suelo, la erosión en episodios de lluvia intensa y el aumento del riesgo de incendio en periodos secos constituyen riesgos operativos relevantes. Por ello, las buenas prácticas recomiendan enfoques de manejo adaptativo, incluyendo rotación del pastoreo, sectorización del recinto y planificación preventiva de la carga de combustible vegetal y de los accesos de emergencia [20].

Ámbito	Buena práctica	Objetivo	Claves de implementación
Manejo ganadero	Integrar el pastoreo en el plan de explotación de la instalación (carga ganadera, rotación, periodos de reposo, responsabilidades).	Evitar degradación del suelo y asegurar actividad agraria real.	Sectorización, calendario de uso, control de sobrepastoreo, registro básico de manejo.
Diseño y logística	Diseñar cerramientos, pasos, puntos de agua y recorridos considerando bienestar animal, logística agraria y seguridad eléctrica.	Evitar incidencias y facilitar la operativa diaria.	Pasillos accesibles, áreas restringidas, puntos de agua ubicados estratégicamente.
Seguridad	Implantar formación, señalización y protocolos de seguridad para personal agrario y de O&M, con coordinación en intervenciones.	Reducir riesgos en infraestructura eléctrica operativa.	Inducción de seguridad, procedimientos de acceso, coordinación de trabajos y emergencias.
Verificación	Evitar enfoques no verificables: definir criterios/indicadores mínimos para acreditar continuidad y relevancia de la producción.	Asegurar credibilidad y trazabilidad del componente agrario.	Indicadores medibles (biomasa, carga, registros), revisión periódica.

Biodiversidad	Establecer cubiertas vegetales diversas y medidas de apoyo a polinizadores con seguimiento sencillo y periódico.	Mejorar biodiversidad y servicios ecosistémicos.	Selección de especies compatibles, seguimiento anual, mantenimiento adaptativo.
Control de vegetación	Reducir herbicidas y priorizar manejo mecánico o ganadero, incorporando el estado del suelo como variable de gestión.	Disminuir impactos y mejorar salud del suelo.	Protocolos de control, inspecciones de suelo, corrección según resultados.
Incendios	Integrar prevención de incendios como requisito de diseño y operación.	Reducir riesgo en periodos secos.	Gestión de combustible vegetal, accesos de emergencia, planificación estacional.
Aceptación social	Incorporar biodiversidad desde permisos y diseño, no solo como compensación.	Mejorar coherencia territorial y aceptación.	Medidas integradas al proyecto, comunicación y evidencias de seguimiento.

Tabla 3. Buenas prácticas accionables en ganadería y biodiversidad. Fuente: [9][10][20][21].

2.4. Economía, modelos de negocio, gobernanza y permisos

2.4.1. Modelos de negocio

La literatura reciente sobre impactos sociales de la agrivoltaica señala un riesgo recurrente: que los beneficios económicos se concentren en agentes con mayor capacidad de inversión o propiedad, mientras que agricultores de menor escala y comunidades locales asumen costes indirectos asociados a limitaciones operativas, paisaje o acceso al suelo. Por este motivo, se recomienda incorporar desde etapas tempranas mecanismos de participación y reparto de valor, así como medidas de transparencia y retorno local que contribuyan a sostener la legitimidad del proyecto[21].

Desde un enfoque práctico, algunas experiencias regionales han desarrollado instrumentos contractuales que constituyen referencias útiles. En Cataluña, por ejemplo, se exige la formalización de un acuerdo de uso agrícola que explicita la actividad prevista, las afectaciones y los compromisos de mantenimiento, junto con referencias de rendimiento y criterios de seguimiento. Este tipo de

requisitos contribuye a clarificar responsabilidades y a reducir la incertidumbre sobre la continuidad de la actividad agraria durante la vida útil de la instalación [7].

En Italia, la lógica de incentivos incorpora también elementos contractuales y de cooperación entre actores agrícolas y energéticos, destacando la necesidad de establecer acuerdos que detallen obligaciones, reparto de ingresos y condiciones de acceso a apoyos públicos. Esta aproximación refuerza la importancia de disponer de estructuras de gobernanza sólidas, especialmente cuando la financiación o la autorización dependen de requisitos verificables [13].

En términos generales, estas referencias sugieren que los modelos de negocio deben diseñarse para preservar la función agraria, distribuir valor de forma transparente y establecer mecanismos contractuales que permitan gestionar cambios operativos (por ejemplo, cambios de cultivo, ajustes de manejo o revisión de compromisos ante incidencias) sin comprometer la finalidad agrivoltaica del proyecto.

2.4.2. Permisos y marcos regulatorios

Una barrera estructural para el desarrollo ordenado de la agrivoltaica es la heterogeneidad de definiciones y criterios, y su impacto sobre el uso del suelo y la elegibilidad de determinadas ayudas agrarias. Informes de política señalan que la ausencia de estándares comunes puede generar incertidumbre administrativa y fricciones en la tramitación, particularmente en relación con la clasificación del terreno y con esquemas de apoyo [22].

En este escenario, algunos países han avanzado hacia marcos más estructurados. Francia constituye un ejemplo de referencia por la integración de definición legal, condiciones de implantación y un sistema de seguimiento periódico con reporte de datos agrarios y energéticos, centralizado a través de mecanismos institucionales. Esta arquitectura orientada a la verificación permite reforzar la transparencia y facilita el aprendizaje acumulativo, al tiempo que reduce el riesgo de que se califiquen como agrivoltaicos proyectos que mantienen una actividad agraria marginal o no demostrable [10][11].

Alemania aporta, en cambio, una aproximación centrada en la estandarización técnica, mediante especificaciones que estructuran tipologías y requisitos mínimos, y que ayudan a traducir objetivos generales a parámetros verificables de diseño y operación. En términos transferibles, la utilidad de estos enfoques reside en su capacidad para convertir la agrivoltaica en un conjunto de exigencias técnicas y operativas claras, comparables y evaluables [6].

Para Baleares, la lección principal no es replicar modelos externos de forma literal, sino adoptar la lógica de marcos basados en desempeño:

definir qué se considera agrivoltaica “real” mediante criterios medibles, y exigir seguimiento y trazabilidad suficientes para sostener la confianza institucional y social.

2.4.3. Recomendaciones institucionales en España

Los materiales prospectivos y documentos institucionales identifican de forma recurrente la necesidad de disponer de un marco normativo claro, una referencia administrativa especializada, líneas de apoyo y medidas para reducir incertidumbres técnicas y mejorar la aceptación social [1]. En coherencia con el alcance general de este apartado, estas recomendaciones se interpretan aquí como orientaciones transferibles de gobernanza y diseño regulatorio, dejando para el apartado específico de Baleares la concreción normativa y procedimental aplicable.

Ámbito	Buena práctica	Objetivo	Claves de implementación
Gobernanza	Exigir gobernanza agraria explícita mediante acuerdos agricultor–promotor con compromisos agronómicos, métricas y asignación de riesgos.	Evitar “agricultura marginal” y clarificar responsabilidades.	Contrato/plan agrario, responsabilidades O&M vs explotación, métricas e hitos.
Permisos e incentivos	Vincular permisos e incentivos a desempeño medible (rendimiento vs referencia, radiación disponible, superficie agraria efectiva, continuidad).	Asegurar agrivoltaica “real” y evaluable.	Umbrales, evidencias, auditorías o revisiones periódicas.
Seguimiento	Implantar seguimiento anual estandarizado (agrario y energético) con conjunto mínimo de datos.	Transparencia y comparabilidad.	Plantilla de reporte anual, indicadores clave, archivo y trazabilidad.
Reversibilidad	Incorporar reversibilidad y restauración (desmantelamiento, recuperación de suelo, minimización de sellado).	Reducir percepción de ocupación irreversible.	Diseño desmontable, limitación de cimentaciones/sellado, plan de restauración.

Distribución de valor	Definir mecanismos de reparto de valor con cláusulas transparentes y auditables (especialmente con incentivos públicos).	Evitar concentración de beneficios y aumentar legitimidad.	Modelos de reparto, condiciones de revisión, auditoría de flujos.
Participación	Integrar participación temprana y codiseño con actores locales y sector primario.	Reducir conflicto y mejorar aceptación.	Talleres, mesas de trabajo, registro de acuerdos y ajustes de diseño.
Compatibilidad administrativa	Pre-evaluar compatibilidad con ayudas agrarias y clasificación del suelo desde fases iniciales.	Evitar bloqueos en tramitación.	Check legal temprano, coordinación con administración, documentación preventiva.
Coherencia técnica	Justificar la configuración técnica en relación con la necesidad agronómica, evitando sobredimensionados.	Mantener coherencia del proyecto y su componente agrario.	Memoria agronómica, criterios de diseño, escenarios comparativos.

Tabla 4. Buenas prácticas accionables en economía, gobernanza y permisos. Fuente: [6][7][10][11][13][21][22].

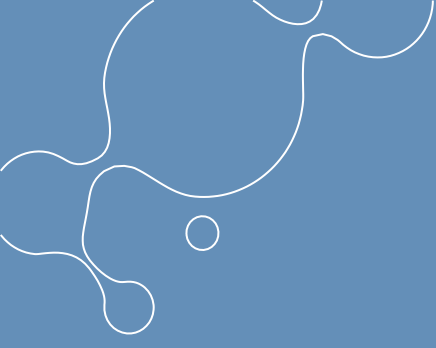
2.4.3. Implicaciones para territorios insulares mediterráneos

En territorios insulares mediterráneos, la agrivoltaica adquiere particular relevancia por la combinación de limitación de suelo útil, presión sobre el territorio, vulnerabilidad hídrica y sensibilidad paisajística. En este contexto, se proponen las siguientes orientaciones de síntesis:

- 1) Priorizar proyectos con contribución clara a la resiliencia hídrica, ya sea por reducción de evapotranspiración, mejora del estado hídrico del suelo o integración de energía fotovoltaica para riego y control, incorporando monitorización desde el inicio [11][16].
- 2) Adoptar un enfoque de umbrales y verificación, que permita diferenciar la agrivoltaica de instalaciones fotovoltaicas en suelo con agricultura residual, utilizando criterios medibles (rendimiento, radiación disponible, superficie agraria efectiva y continuidad) [10][13].
- 3) Diseñar con foco en explotaciones de pequeña y mediana escala, minimizando superficie no utilizable, viales y sellados, y

favoreciendo modularidad y reversibilidad para reducir impactos y facilitar aceptación [7].

- 4) Integrar desde el diseño los condicionantes de O&M y recursos hídricos, considerando riesgos de ensuciamiento y necesidades de accesibilidad, con protocolos realistas adaptados al contexto insular [9].
- 5) Tratar biodiversidad y medidas agronómicas visibles como componentes estructurales, incorporándolas al proyecto desde la fase de permisos para reforzar coherencia territorial y aceptación social [20].
- 6) Incorporar ganadería extensiva como herramienta operativa, donde sea pertinente, con requisitos de seguridad eléctrica, rotación y manejo que eviten degradación del suelo y riesgos asociados [20].
- 7) Promover modelos de gobernanza que reduzcan desigualdad y aumenten retorno local, mediante participación temprana, transparencia en la distribución de valor y mecanismos de cooperación [21].
- 8) Impulsar proyectos piloto con hipótesis agronómica explícita y criterios de evaluación, de forma que la evidencia generada sea transferible y permita ajustar decisiones futuras en base a resultados medibles [10][17]



3. Buenas prácticas identificadas en Baleares

3.1. Condicionantes baleares que deben orientar el emplazamiento y la viabilidad agronómica

En Baleares, la viabilidad de un sistema agrivoltaico no depende únicamente de la radiación solar. La evidencia disponible en el marco del piloto y de los documentos técnicos del proyecto converge en cuatro condicionantes que, si no se resuelven desde el inicio, convierten la compatibilidad agraria en un planteamiento nominal: agua, suelo, logística y mecanización, encaje territorial y social.

El agua actúa como factor estructurante. La disponibilidad y calidad del recurso hídrico, entendidas como cantidad, coste, salinidad y fiabilidad estacional, constituyen el primer filtro real de viabilidad, especialmente cuando se trabaja con hortícolas en campañas de primavera-verano. En este marco, el anteproyecto de ley agraria autonómica incorpora directrices para impulsar el uso agrario de aguas regeneradas y ordenar su consideración ambiental cuando se trate de proyectos vinculados a la reutilización de aguas depuradas para riego [23].

El suelo suele ser un limitante agronómico de primer orden en localizaciones con poca profundidad efectiva o baja fertilidad. La experiencia en el piloto de Son Moro indica que la disponibilidad de suelo útil puede ser limitada, con una capa de tierra muy fina y de baja productividad, lo que condiciona la elección de cultivos y requiere una estrategia explícita de mejora orgánica y rotación/barbecho.

La topografía, la accesibilidad y la mecanización. La compatibilidad agraria depende de que el diseño del parque permita trabajar la parcela con normalidad. Para ello, debe definirse desde el inicio la operativa agrícola prevista (tipo de maquinaria y maniobras) y traducirla a requisitos de diseño verificables: anchos de calles entre filas, radios de giro, altura libre bajo los módulos y recorridos internos que no interfieran ni con las labores agrarias ni con la operación y mantenimiento de la planta fotovoltaica. La evidencia técnica del proyecto muestra que, cuando estos parámetros no se dimensionan correctamente, las estructuras bajas o con apoyos muy frecuentes dificultan el acceso de maquinaria, incrementan la dependencia de trabajos manuales y desplazan el cultivo a franjas residuales, reduciendo la superficie agraria efectivamente aprovechable.

Encaje territorial y social. En Baleares, la implantación de instalaciones fotovoltaicas en suelo rústico está especialmente condicionada por la sensibilidad paisajística y por la percepción de competencia con los usos agrarios y turísticos. La literatura prospectiva señala que el aumento de proyectos FV en terreno rústico ha generado contestación social asociada, entre otros factores, al impacto paisajístico y a posibles efectos en sectores como el turismo; en este contexto, la agrivoltaica puede mejorar la percepción si acredita un uso dual real y beneficios

verificables para el territorio, aunque no elimina por sí sola el riesgo de rechazo por motivos ambientales o visuales. Asimismo, el estado del arte elaborado en el proyecto destaca que la aceptación pública es un factor crítico en Baleares y que la comunicación de beneficios, junto con un diseño coherente con el paisaje y la actividad agraria, resulta determinante.

En línea con ello, en el territorio aparecen iniciativas orientadas al consumo local y a la participación social, como las comunidades energéticas que plantean instalaciones de pequeña escala vinculadas al autoconsumo colectivo, lo que tiende a reducir la percepción de ocupación territorial y a reforzar el retorno local.

3.2. Evidencias de casos locales y aprendizajes operativos

3.2.1. Parque agrivoltaico Son Moro (Sant Llorenç, Mallorca)

El parque agrovoltaico de Son Moro aporta valor como caso demostrativo porque combina ingeniería de compatibilidad, plan agrario operativo y metodología de aprendizaje en condiciones baleares. La evidencia utilizada en este documento se apoya en tres fuentes complementarias: visita técnica al emplazamiento, notas de reunión con el promotor y una referencia sectorial publicada.

El piloto se plantea como ensayo controlado con gradiente de radiación. Se documenta una superficie inicial de 1.000 m² donde se implanta un mismo cultivo en escenarios de sol, semisol, semiombra y sombra para medir la respuesta agronómica y derivar reglas de ubicación del cultivo según exposición. Esta aproximación es especialmente relevante en Baleares, donde la estacionalidad del patrón de sombra es acusada y obliga a validar hipótesis de cultivo con datos de campaña.

El promotor enfatiza tres criterios de diseño como no negociables en el contexto balear: disponibilidad de agua, compatibilidad con mecanización mediante un diseño geométrico adecuado, y salida comercial mediante acuerdo previo con una entidad local. En el caso concreto, se menciona un acuerdo con la Cooperativa Agroalimentaria d'Artà para la comercialización, y se apunta la utilidad de recursos de monitorización ya existentes en el parque, como cámaras térmicas, o alternativamente sensores específicos para seguimiento de temperatura del suelo.

En cuanto a manejo y operación, las notas del piloto recogen una estrategia de cultivos priorizando especies que no generen sombra adicional, que toleren parcialmente el sombreado en la ventana de cultivo, y que sean compatibles con suelos de menor potencial, con atención a raíces y compactación. Se identifican cultivos trabajados o

considerados como tomate de ramallet, tomate pera, melón y albahaca, con campaña orientativa de plantación en abril-mayo y cierre en octubre. Para la gestión postcosecha se contempla la entrada puntual de ovino como herramienta de limpieza de biomasa y hierbas, con una referencia orientativa de carga y entrada en octubre, sin plantearlo como sustituto del plan de O&M sino como complemento de manejo.

3.2.2. Planta fotovoltaica Sa Caseta, Llucmajor, Mallorca

La planta de Sa Caseta se ha documentado como referencia de integración visible entre infraestructura fotovoltaica y prácticas del sector primario en un parque operativo. Se describe la coexistencia de la instalación con actuaciones como pastoreo de ovino dentro del recinto, plantación de especies leñosas y medidas de gestión del agua en el propio parque.

Desde el punto de vista de buenas prácticas, el aprendizaje trasladable no es la presencia de ganado en sí misma, sino su integración como solución funcional de desbroce y control de vegetación, con condiciones de seguridad y coordinación con la operación de la planta. Este enfoque se alinea con el criterio de trazabilidad y de evitar usos simbólicos del ovino, recogido en el marco metodológico del documento.

3.2.3. Comunitat Energètica de Llevant: tipología de proximidad y parámetros públicos de diseño

La Comunitat Energètica de Llevant se presenta como una iniciativa sin ánimo de lucro que prevé desplegar 15 instalaciones de pequeña escala entre Manacor y Artà, orientadas a autoconsumo colectivo de proximidad con un radio de hasta 2 km, y con potencias de referencia por instalación del orden de 100 kW.

En su planteamiento público, la entidad explicita parámetros geométricos orientativos para habilitar uso agrícola: estructuras de 2 a 3 m de altura y distancias de 3 a 6 m entre líneas, con el objetivo de permitir el uso de tractor y motocultor para adecuación y mantenimiento del suelo. Esta explicitación aporta una buena práctica de transparencia técnica, al conectar geometría con operabilidad agraria.

Como aprendizaje para el diseño de proyectos en Baleares, este caso refuerza la conveniencia de fijar primero la sección tipo agraria y validar la operativa agrícola antes de cerrar estructura y cimentación, documentando adicionalmente el encaje normativo para evitar que la agrivoltaica se quede en un enunciado sin continuidad operativa.

3.2.4. Parque agrisolar de Es Mercadal, Menorca

Además de los casos identificados en Mallorca, existe un caso documentado en Menorca: el parque fotovoltaico agrisolar de Es Mercadal, presentado por el Govern como el primer parque agrisolar de Baleares. La nota institucional describe un proyecto que combina usos agrarios y energéticos con el cultivo de lavanda entre hileras, y aporta cifras de potencia, ocupación y número de módulos, así como el enfoque agroenergético y el papel del sombreado en variables microclimáticas y necesidades hídricas [24].

3.3. Selección de cultivos compatibles con sistemas agrivoltaicos

En Baleares, cultivo compatible no equivale únicamente a tolerancia a sombra. La selección debe integrar microclima y sombreado, viabilidad hídrica, suelo y sistema radicular, operabilidad con mecanización, y salida comercial o aporte a demanda local. En este punto convergen la evidencia de caso del piloto de Son Moro y el diagnóstico sectorial aportado en los entregables previos.

En el caso Son Moro se describen criterios prácticos consistentes: priorizar especies que no añadan sombreado, que puedan funcionar con sombra parcial según época, y que puedan implantarse con un manejo realista en suelos limitados. Se identifican como cultivos trabajados o priorizados tomate de ramallet, tomate pera, melón y albahaca, y se incorpora una regla de ubicación por exposición para cultivos sensibles a sombra, como la sandía, situándolos en corredores más soleados dentro de la geometría entre filas.

Desde la óptica de demanda territorial, el diagnóstico del sector turístico balear identifica un conjunto de productos hortícolas con alta presencia en el canal HORECA y con déficit estructural de abastecimiento local. En particular, el análisis prioriza seis cultivos por su demanda turística y por su potencial de expansión productiva: lechuga, tomate, pimiento, calabacín, berenjena y sandía [3]. Este enfoque permite orientar ensayos agrivoltaicos hacia productos con mayor capacidad de sustituir importaciones cuando el objetivo del proyecto es maximizar el aporte local, siempre que se asegure previamente la viabilidad hídrica del sistema.

Complementariamente, el estado del arte aplicado a Baleares refuerza la pertinencia de trabajar con parte de estas hortícolas y otras especies relevantes en el archipiélago, y recoge evidencias de buen desempeño agronómico bajo sombra parcial para uva, fresa y espárrago en contextos de alta radiación o estrés hídrico [4].

3.4. Gestión agronómica, rotaciones y mantenimiento del suelo

La experiencia del piloto y la evidencia técnica coinciden en que el suelo en agrivoltaica no puede gestionarse como un campo estándar. La presencia de estructuras fotovoltaicas introduce patrones de tránsito y sombreado que obligan a un manejo explícito de fertilidad, estructura del suelo, rotación y barbecho, integrados en el diseño agronómico desde el inicio.

En Son Moro se recoge que, tras la campaña primavera–otoño, se evita repetir siembra en las mismas parcelas durante el invierno para no agotar nutrientes, combinando descanso del suelo con implantación en otras zonas, y apoyándose en fertilización orgánica para mejorar condiciones de un terreno inicialmente poco productivo. Se aporta también una referencia operativa sobre patata como cultivo de invierno en parcelas distintas, con siembra orientativa en enero y recolección en abril–mayo, reforzando la lógica de rotación espacial y temporal.

Como buena práctica transferible, este enfoque implica que el plan agrario del proyecto debe contener un calendario de campaña, una estrategia de rotación y barbecho, y una estrategia de mejora orgánica y control de compactación, con indicadores de seguimiento vinculados a productividad, humedad y temperatura del suelo.

3.5. Integración de ganadería extensiva para la gestión del sistema

La integración de ovino como herramienta de gestión de la vegetación y de la biomasa es una práctica que ya se está considerando y aplicando en casos reales de Baleares, con un enfoque operativo común: reducir o complementar el desbroce mecánico, mantener el recinto en condiciones y aportar un uso agrario verificable dentro del parque fotovoltaico. En el piloto de Son Moro se contempla la incorporación de un rebaño de ovejas como medida de limpieza del terreno, asociada al final de campaña y al control de hierbas y biomasa, incluyendo referencias orientativas de carga y una ventana temporal de entrada en otoño, en coherencia con la lógica de rotación y barbecho.

De forma complementaria, el caso de Sa Caseta (Llucmajor) se ha documentado públicamente como ejemplo de coexistencia entre planta solar y pastoreo dentro del recinto, con el pastoreo de ovejas como medida explícita de compatibilidad y de gestión del terreno. Asimismo, Endesa ha comunicado de manera oficial su estrategia de integrar el pastoreo de ovejas en plantas solares de Baleares como

parte de iniciativas de sinergia con el sector primario, junto con otras medidas como apicultura o cultivos asociados [25].

Como buena práctica, esta integración debe tratarse como una función planificada dentro del plan de explotación y de O&M, con condiciones de diseño y seguridad definidas: sectorización y vallado adecuados, protección de elementos sensibles (cableado, equipos), definición de cargas y periodos de entrada, disponibilidad de agua, coordinación con las intervenciones de operación y mantenimiento y trazabilidad mínima de la actividad para evitar usos meramente demostrativos.

3.6. Necesidad de herramientas de simulación adaptadas a la agrivoltaica

La evidencia técnica comparativa muestra que el patrón de sombra varía marcadamente por estación, lo que obliga a simular o monitorizar antes de fijar geometría y cultivos, y posteriormente ajustar con datos de operación. Este requisito es particularmente relevante en Baleares si el proyecto pretende sustentar beneficios agronómicos ligados a microclima, reducción de evapotranspiración o mitigación de estrés térmico.

En el caso Son Moro se recoge, además, la necesidad de herramientas que diferencien filas con distinto sombreado y permitan escalar configuraciones modulares, incorporando variables energéticas y agronómicas en fases tempranas. En términos de instrumentación, el parque dispone de cámaras térmicas que podrían emplearse para el seguimiento de la temperatura del suelo y, de forma complementaria, se plantea la instalación de sensores específicos para reforzar y sistematizar el registro de datos agronómicos.

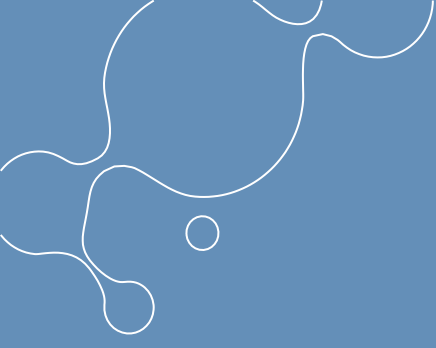
La experiencia técnica disponible para Baleares muestra que el patrón de sombreado en sistemas agrivoltaicos es en gran parte estacional y depende de forma directa de la geometría del campo fotovoltaico (altura de módulos, inclinación, separación entre filas y trayectoria solar). Esto implica que un diseño que funciona en una época del año puede generar condiciones limitantes en otra, por lo que la evaluación previa de la distribución espacial y temporal de la radiación sobre el terreno debe considerarse un requisito de diseño y no un análisis accesorio.

En consecuencia, se recomienda incorporar herramientas de simulación específicas que permitan anticipar, como mínimo, la evolución mensual y por horas críticas del sombreado en la franja cultivable, comparando configuraciones alternativas antes de fijar definitivamente la geometría y la selección de cultivos. En el análisis técnico del proyecto se evidencia que la estacionalidad del sombreado varía de forma marcada entre meses (por ejemplo, con contrastes

claros entre verano y primavera/otoño) y que el diseño debe evitar zonas extensas con déficit radiativo persistente si se pretende sostener un uso agrario continuo.

Como buena práctica complementaria, la simulación debe cerrarse con validación en campo mediante ensayos estructurados que permitan atribuir efectos al sombreado y no a diferencias de manejo. El enfoque de ensayo con un mismo cultivo en escenarios de sol, semisol, semi-sombra y sombra constituye un formato replicable para contrastar hipótesis y ajustar decisiones de diseño y de agronomía en condiciones reales del archipiélago.

Por otro lado, una recomendación a incorporar es instrumentación desde el inicio, combinando soluciones de observación térmica con sensores de campo para registrar de forma sistemática variables agronómicas clave (como temperatura del suelo y, cuando proceda, humedad), de manera que los resultados sean comparables por zonas de sombra, por campaña y entre configuraciones. Esta recomendación es coherente con la experiencia del piloto, donde se identifica explícitamente el potencial de la monitorización térmica y, alternativamente, el despliegue de sensores específicos para reforzar el registro de datos agronómicos.



4. Líneas futuras de trabajo e innovación

El desarrollo de la agrivoltaica en las Illes Balears requiere avanzar desde aproximaciones generales hacia un marco técnico y operativo adaptado a las condiciones insulares. Si bien existe experiencia y evidencia internacional suficiente para identificar tendencias y recomendaciones, la singularidad del territorio —limitación de suelo disponible, presión de usos, sensibilidad paisajística, variabilidad edáfica y restricciones hídricas— justifica la necesidad de generar conocimiento local que permita diseñar, evaluar y regular proyectos con mayor precisión y menor incertidumbre.

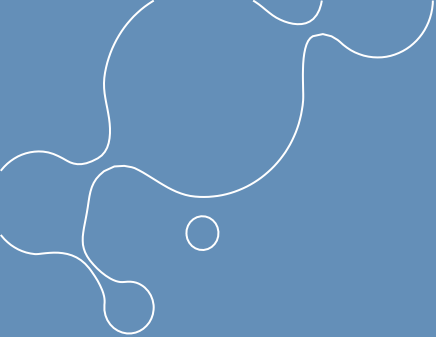
En primer lugar, resulta prioritario reforzar la base de datos agronómica y ambiental mediante estudios que caractericen el comportamiento del microclima bajo distintas configuraciones de estructuras fotovoltaicas. La distribución espacial y temporal de la radiación, la temperatura, la humedad y el viento condicionan directamente la respuesta de los cultivos y el balance hídrico, por lo que se recomienda establecer protocolos de medida y seguimiento que permitan comparar diseños de forma consistente. En paralelo, es necesario evaluar la respuesta productiva y de calidad de cultivos representativos del contexto mediterráneo a distintos niveles de sombreado y patrones de irradiancia, incorporando variables clave como fenología, rendimiento comercial, incidencias fitosanitarias y requerimientos de manejo.

Asimismo, la gestión del agua debe situarse como eje central de la investigación aplicada. En un escenario de recurso limitado, conviene cuantificar con rigor el impacto de la sombra sobre la evapotranspiración, la eficiencia del riego y las necesidades reales de aporte, así como analizar estrategias de optimización mediante sensores y programación. Cuando proceda, también debería contemplarse la evaluación de alternativas de abastecimiento y calidad del agua, incluyendo el uso de fuentes regeneradas bajo condiciones controladas, atendiendo a su compatibilidad agronómica y a los requisitos normativos y sanitarios aplicables.

Asimismo, resulta relevante profundizar en los efectos del sistema sobre el suelo y sobre el funcionamiento ecológico del entorno. La implantación de estructuras puede modificar la dinámica del suelo (compactación por maquinaria, cambios de humedad, distribución de materia orgánica y actividad biológica), lo que aconseja diseñar líneas de trabajo específicas sobre conservación de suelos, cubiertas vegetales, biodiversidad funcional y medidas de restauración o mejora a medio plazo. En este ámbito, también resulta pertinente explorar la integración de usos complementarios —como pastoreo extensivo o aprovechamientos compatibles— siempre que se garanticen condiciones de seguridad, bienestar animal y viabilidad técnica, y que la compatibilidad con la infraestructura esté adecuadamente demostrada.

Desde el punto de vista técnico-económico, es necesario avanzar en metodologías integradas de evaluación que contemplen de forma conjunta variables agrarias, energéticas, hídricas y territoriales. Esto incluye desarrollar modelos de simulación y herramientas de apoyo a la decisión que permitan comparar alternativas de diseño, estimar riesgos y optimizar configuraciones en función de objetivos (productividad agrícola, producción eléctrica, ahorro de agua, mantenimiento, impacto paisajístico). En paralelo, deben incorporarse análisis de viabilidad económica que consideren costes de inversión y operación, mantenimiento, seguros, riesgos operativos y retorno para el sector primario, evitando lecturas parciales centradas únicamente en la rentabilidad energética.

Finalmente, se recomienda impulsar proyectos piloto demostrativos como mecanismo clave para validar soluciones y acelerar el aprendizaje colectivo. Estos proyectos deben plantearse con objetivos claros, diseño replicable, indicadores definidos y un sistema de monitorización que permita publicar resultados de manera transparente. En un contexto con elevada sensibilidad social, los demostradores deben evidenciar de forma verificable la continuidad de la actividad agraria y su compatibilidad con la instalación, contribuyendo a generar confianza, reducir conflictos y establecer estándares de referencia para futuras actuaciones.



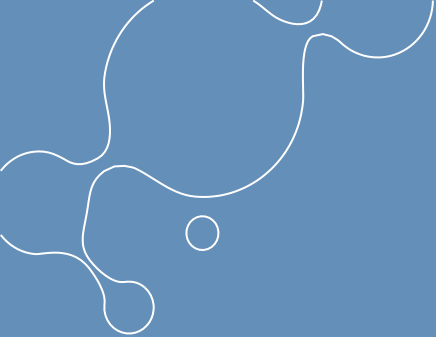
5. Conclusiones

La agrivoltaica se perfila como una alternativa con capacidad para contribuir a los objetivos de transición energética sin comprometer, por definición, el uso agrario del suelo. No obstante, la experiencia comparada y los condicionantes propios del contexto balear ponen de manifiesto que su éxito depende de que la dimensión agrícola sea un componente estructural del proyecto desde la fase de diseño. En este sentido, la compatibilidad agronómica debe acreditarse mediante criterios técnicos, un plan de manejo realista y un sistema de seguimiento que permita verificar, con indicadores objetivos, la continuidad de la actividad productiva y el mantenimiento de la calidad del suelo.

Los principales factores críticos identificados se concentran en la disponibilidad y gestión del agua, la elección de configuraciones constructivas que permitan la mecanización y el acceso, y la adaptación del diseño a las particularidades del cultivo y de la explotación. La modificación del microclima bajo los paneles puede generar beneficios (reducción de estrés térmico e hídrico, protección frente a eventos extremos) o efectos adversos (insuficiente radiación para ciertos cultivos, alteraciones en el desarrollo), por lo que resulta imprescindible ajustar la altura, densidad y disposición de los módulos a los requisitos agronómicos, evitando enfoques estandarizados que ignoren la diversidad de sistemas productivos. Asimismo, el mantenimiento de la fertilidad y estructura del suelo, junto con el control de la compactación y la gestión de cubiertas vegetales, aparecen como condiciones necesarias para garantizar la sostenibilidad del sistema a medio y largo plazo.

Desde una perspectiva territorial y social, la implantación de proyectos requiere un encaje especialmente cuidadoso en un entorno insular caracterizado por la presión sobre el suelo, la sensibilidad paisajística y la elevada competencia por recursos. En consecuencia, los proyectos agrivoltaicos deben alinearse con la planificación territorial y agrícola, minimizar impactos y asegurar mecanismos de transparencia que refuercen la aceptación social.

En este marco, la guía elaborada constituye una base técnica útil para orientar la evaluación y el diseño de iniciativas futuras, al recoger criterios de compatibilidad, buenas prácticas operativas y prioridades de seguimiento. Su aplicación permite reducir incertidumbres, anticipar riesgos y promover soluciones coherentes con las necesidades del sector primario. No obstante, se constata la conveniencia de reforzar la evidencia local mediante proyectos piloto demostrativos y programas de monitorización que generen datos comparables en condiciones reales de las islas. La consolidación de este enfoque —gradual, verificable y centrado en la actividad agraria— es la vía más adecuada para que la agrivoltaica pueda desplegarse con garantías, aportando valor energético y agrario, y contribuyendo de forma equilibrada a los objetivos de sostenibilidad del territorio.



6. Bibliografía

1. Ministerio de Agricultura P y A, Universidad de Córdoba, Grupo de investigación TEP-215 (2023) Informe prospectivo sobre la situación de la energía agrovoltaica
2. Bunge L, Fialho L, Horta P (2023) ASSESSMENT AND GUIDELINES FOR AN AGRIVOLTAIC PILOT IN ALENTEJO. <https://doi.org/10.4229/EUPVSEC2023/4BV.3.19>
3. Clúster de Transición Ecológica de las Illes Balears, Universitat de les Illes Balears (2025) Diagnóstico de la demanda de recursos del sector turístico balear
4. Clúster de Transición Ecológica de les Illes Balears, Universitat de les Illes Balears (2025) Estado del Arte en Agrivoltaica y su viabilidad en España
5. Clúster de Transición Ecológica de les Illes Balears, Universitat de les Illes Balears (2025) Análisis LCA, técnico y económico de los escenarios analizados
6. Fraunhofer ISE (2024) Agrivoltaics: Opportunities for Agriculture and the Energy Transition. A Guideline for Germany
7. Generalitat de Catalunya (2023) Instrucció tècnica que estableix els criteris d'agrovoltisme a Catalunya
8. Dupraz C, Marrou H, Talbot G, et al (2011) Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use: Towards new agrivoltaic schemes. *Renew Energy* 36:2725–2732. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.03.005>
9. International Energy Agency (2025) Dual Land Use for Agriculture and Solar Power Production: Overview and Performance of Agrivoltaic Systems
10. République française (2024) LOI n° 2023-175 du 10 mars 2023 relative à l'accélération de la production d'énergies renouvelables (1) - Légifrance. https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000047294244?utm_source=chatgpt.com. Accessed 11 Feb 2026
11. République française (2023) Mission réglementaire. https://observatoire-agrivoltisme.ademe.fr/observatoire_missions. Accessed 11 Feb 2026
12. Article 3 - Arrêté du 5 juillet 2024 relatif au développement de l'agrovoltisme et aux conditions d'implantation des installations photovoltaïques sur terrains agricoles, naturels ou forestiers - Légifrance. https://www.legifrance.gouv.fr/loda/article_lc/LEGIARTI000050393964. Accessed 11 Feb 2026

13. Gestore Servizi Enegetici (GSE) (2025) Sviluppo agrivoltaico: documenti y linee guida (incl. Linee guida per il monitoraggio della continuità dell'attività agricola). https://www.gse.it/servizi-per-te/attuazione-misure-pnrr/sviluppo-agrivoltaico/documenti?utm_source=chatgpt.com. Accessed 11 Feb 2026
14. Jung D, Gareis GH, Staiger A, Salmon A (2022) Effects of soiling on agrivoltaic systems: Results of a case study in Chile. AIP Conf Proc 2635:. <https://doi.org/10.1063/5.0107943>
15. Universitat Politècnica de Catalunya (2025) Se inaugura, en el Agrópolis de la UPC, la primera planta agrivoltaica monitorizada para el control integral del cultivo hortícola - UPC Universitat Politècnica de Catalunya. https://www.upc.edu/es/sala-de-prensa/noticias/inauguracion-primera-planta-agrivoltaica-monitorizada-control-cultivo-horticola-agropolis?utm_source=chatgpt.com. Accessed 11 Feb 2026
16. Juillion P, Lopez G, Fumey D, et al (2022) Shading apple trees with an agrivoltaic system: Impact on water relations, leaf morphophysiological characteristics and yield determinants. Sci Hortic 306:111434. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111434>
17. Fagnano M, Fiorentino N, Visconti D, et al (2024) Effects of a Photovoltaic Plant on Microclimate and Crops' Growth in a Mediterranean Area. Agronomy 2024, Vol 14, Page 466 14:466. <https://doi.org/10.3390/agronomy14030466>
18. Inauguran sistema agrivoltaico en huerto de cerezos en Teno - Facultad de Ciencias Agronómicas - Universidad de Chile. <https://agronomia.uchile.cl/noticias/228125/inauguran-sistema-agrivoltaico-en-huerto-de-cerezos-en-teno>. Accessed 11 Feb 2026
19. Elamri Y, Cheviron B, Lopez JM, et al (2018) Water budget and crop modelling for agrivoltaic systems: Application to irrigated lettuces. Agric Water Manag 208:440–453. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.07.001>
20. Solar Power Europe (2023) Agrisolar Best Practice Guidelines Version 2 - SolarPower Europe. https://www.solarpowereurope.org/insights/thematic-reports/agrisolar-best-practice-guidelines-version-2-2?utm_source=chatgpt.com. Accessed 11 Feb 2026
21. C R, E F (2025) Agrivoltaics as a win-win for rural regions? Energy and environmental justice perspectives across Italy, Spain, Belgium, and the Netherlands. Energy Res Soc Sci 129:104369. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114706>

22. OECD (2025) Global Drought Outlook. Trends, Impacts and Policies to Adapt to a Drier World
23. Conselleria d'Agricultura P i MA (2025) Anteproyecto de Ley agraria de las Illes Balears
24. El primer parque agrisolar de Baleares permitirá multiplicar por cinco la potencia fotovoltaica de Menorca. https://www.caib.es/pidip2front/ficha_convocatoria.xhtml?sessionid%3DSCtV3GeX6PUFXprcUxMKMsxvncrQg7aGnewqpEqS.sapplin24?lang=es&urlSemantica=10057569. Accessed 11 Feb 2026
25. Sinergia entre sector primario e industrial en las instalaciones renovables de Endesa | Endesa. <https://www.endesa.com/es/prensa/sala-de-prensa/noticias/transicion-energetica/renovables/sinergia-entre-sector-primario-industrial-formula-endesa-instalaciones-renovables?> Accessed 11 Feb 2026