

La agrivoltaica: cómo cultivar alimentos y energía limpia

Marta Varo-Martínez y Luis Manuel Fernández de Ahumada

Grupo TEP 215 Física para las Energías y Recursos Renovables,
Universidad de Córdoba

1. Plantas fotovoltaicas frente a explotaciones agrícolas

El cambio climático y sus consecuencias negativas para el planeta y los sistemas socioeconómicos son ampliamente reconocidos por las administraciones públicas, la comunidad científica y la sociedad en general. En respuesta, diversas instituciones gubernamentales están implementando políticas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, principales causantes del calentamiento global. Concretamente, en la Unión Europea (UE), el Pacto Verde para el Clima busca una UE climáticamente neutra, moderna y sostenible para 2050, reduciendo las emisiones netas de gases de efecto invernadero en, al menos, un 55 % respecto a los valores 1990. Para ello, el programa «Fit for 55» pretende aumentar las fuentes de energía renovables en el mix energético global entre el 32 % y el 40 % para 2030, destacando la energía fotovoltaica como una tecnología clave.

En el ámbito nacional, la Ley 17/2021 de Cambio Climático y Transición Energética y el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030 (PNIEC) definen las medidas de descarbonización a implementar en España. Concretamente, se contempla la instalación de 5000 MW/año de potencia proporcionada por fuentes renovables para el período 2021-2030.

Estas medidas, junto con las mejoras que avanzan hacia una tecnología más eficiente y económica, han impulsado un crecimiento significativo de la fotovoltaica en nuestro país en las últimas décadas. Concretamente, según el último informe anual de la Unión Española Fotovoltaica (UNEF) publicado en 2024 (Unión Española Fotovoltaica, 2024), la potencia fotovoltaica instalada en 2023 alcanzó los 7,5 GWp (5,8 GWp en suelo y 1,7 GWp de autoconsumo), sumando un total de 32,5 GWp. Este desarrollo ha incrementado la participación de la fotovoltaica en el mix energético hasta el 13,6 %, representando el 27,8 % de la generación renovable en nuestro país.

Sin embargo, este crecimiento y, más concretamente, el de la fotovoltaica en suelo, requiere grandes extensiones de tierra. La mayor rentabilidad económica que se obtiene de un terreno cuando éste se dedica a una instalación fotovoltaica que cuando se dedica a la agricultura para la mayor parte de los cultivos (López-Luque *et al.*, 2023), favorece el cambio de uso del terreno de agrícola a fotovoltaico. Sin embargo, esta pérdida de superficie agrícola conlleva importantes riesgos medioambientales (pérdida de vegetación, amenaza a especies animales) y económicos (pérdidas para el sector agrícola, despoblamiento de zonas rurales, dificultades de abastecimiento de alimentos, etc.) (Evans *et al.*, 2022; Nonhebel, 2005).

En consecuencia, han surgido opiniones contrarias a las «mega plantas fotovoltaicas» (Sociedad Española de Agricultura Ecológica y Agroecología, 2023) debido a sus posibles efectos negativos en la producción agroalimentaria, la economía y el valor paisajístico de las zonas rurales y el medioambiente (Asociación Española de Evaluación de Impacto Ambiental [EIA], 2023; Nonhebel, 2005).

Sin embargo, tanto la fotovoltaica como la agricultura son importantes para la economía de nuestro país. Y es que, por un lado, España es uno de los países de Europa que más horas de sol recibe al año, con más de 2500 horas anuales, lo que le convierte en un territorio idóneo para las diferentes tecnologías de aprovechamiento del recurso solar. De hecho, según el último informe de la UNEF (Unión Española Fotovoltaica, 2024), anteriormente mencionado, en 2023 la fotovoltaica contribuyó con un 1,23 % al PIB del país con 18.015 millones de €, lo que supone un incremento del 4 % respecto al 2022. Por otro lado, según el último informe anual de indicadores del sector publicado por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación del Gobierno de España, el Valor Añadido Bruto del sector agrícola alcanzó en 2023 los 34.240 millones de €, lo que representa al 2,3 % del PIB del país (Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, 2024). Por todo ello, es necesario desarrollar nuevos modelos que permitan compatibilizar el necesario despliegue de las energías renovables con la protección del sector agrícola, crucial para el suministro de alimentos.

2. Agrivoltaica: Fotovoltaiica y Agricultura

En este contexto, en 1982 Goetzberger & Zastrow (Goetzberger & Zastrow, 1982) propusieron un nuevo diseño de planta fotovoltaica en la que los paneles solares se disponían sobre estructuras de 2 metros de altura y separadas entre sí por calles de 6 metros de ancho para favorecer que la radiación solar llegase al suelo con niveles adecuados para un cultivo agrícola y, de esta forma, combinar la producción de alimentos y energía renovable en un mismo terreno.

Dos décadas más tarde, en 2004 Nagashima implementó en Japón la primera instalación piloto para analizar experimentalmente el comportamiento de los cultivos bajo colectores solares (Nagashima, 2015). A partir de dicho estudio, en 2012 se desarrolló el primer plan gubernamental para impulsar este nuevo modelo de producción, que se vino a denominar «solar sharing».

Fue un estudio del Institut National de la Recherche Agronomique (INRAe, Francia) el que introdujo el término «agrivoltaic» en el marco de un estudio en el que se simulaba el comportamiento de un sistema que combinaba en un mismo terreno producción agrícola y fotovoltaica, encontrando que la productividad del terreno se podía incrementar entre un 35 y un 73 % (Dupraz *et al.*, 2011).

Por tanto, un sistema agrivoltaico se define como un sistema de producción dual en el que se integran la actividad agrícola y fotovoltaica en un mismo terreno de manera que se favorezcan sinergias positivas entre ambas actividades. De acuerdo con esto, se distinguen tres posibles configuraciones de sistemas agrivoltaicos: agrivoltaica elevada, agrivoltaica interespacial e invernaderos agrivoltaicos.

Por un lado, la agrivoltaica elevada consiste en disponer los colectores solares en estructuras elevadas sobre el cultivo a una altura que varía, normalmente, entre 2 y 6 metros de manera que se permita el paso de la maquinaria y el desarrollo de las labores agrícolas (Figura 1). Esta disposición optimiza el aprovechamiento del terreno y favorece la conservación de la biodiversidad. Sin embargo, el coste de la estructuras soporte de los colectores (que aumenta con la altura de estas) y de su cimentación (con exigentes requerimientos técnicos por las cargas de viento) es elevado (Trommsdorff *et al.*, 2022). Por otra parte, esta tipología permite variar fácilmente los niveles de sombreado del cultivo en función de la distancia entre las filas de paneles fotovoltaicos y su altura, para adaptarlos a las necesidades del cultivo y proteger la actividad agrícola.

Figura 1. Ejemplo de sistema agrivoltaico elevado



Fuente: imagen cedida por Fraunhofer ISE Institute.

En segundo lugar, hablamos de agrivoltaica interespacial cuando el cultivo se dispone en el espacio libre entre las filas de colectores solares que se separan a una distancia tal que permite el desarrollo de las labores de mantenimiento del cultivo y el paso de la maquinaria agrícola (Figura 2). Este tipo de instalación requiere mayor extensión de terreno, sin embargo, el coste de la infraestructura, incluyendo las estructuras de soporte y la cimentación, es menor que en el caso de la agrivoltaica elevada.

Figura 2. Ejemplo de sistema agrivoltaico interespacial



Fuente: imagen cedida por EWS Sonnenfeld® de EWS Consulting GmbH.

Figura 3. Ejemplo de invernadero agrivoltaico



Fuente: elaboración propia.

Finalmente, en un invernadero agrivoltaico los paneles fotovoltaicos se disponen sobre la estructura propia del mismo (Figura 3). En estos casos, es crucial un diseño adecuado del sistema para gestionar el sombreado que los paneles proyectan sobre los cultivos. Y es que, los niveles Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR) en el interior de los invernaderos, especialmente en la región del Mediterráneo, suelen ser insuficientes en invierno y excesivos en verano, requiriendo medidas de protección adicionales (López-Díaz *et al.*, 2020). Las sombras de los paneles fotovoltaicos pueden agravar la reducción de incidencia solar en invierno (Fatnassi *et al.*, 2015). Por ello, los invernaderos agrivoltaicos suelen destinarse al cultivo de plantas con bajos requerimientos de radiación solar (setas, frutos rojos, etc.).

En todos los casos, es importante no perder de vista que la agrivoltaica persigue proteger la producción de alimentos mediante la integración de la agricultura y la fotovoltaica, evitando que la segunda, debido a su mayor rentabilidad económica, desplace a la primera. Por tanto, al diseñar cualquiera de estas configuraciones agrivoltaicas, se debe poner el enfoque en preservar la actividad agrícola, asegurando que su producción tenga un peso significativo en el global de la instalación.

3. Sinergias: Fotovoltáica + Agricultura

De acuerdo con la definición de la agrivoltaica, este nuevo modelo productivo dual permite continuar apostando por la producción de energías renovables, tan necesarias en la lucha contra el Cambio Climático (Ott *et al.*, 2022), sin poner en riesgo la producción de alimentos, ni la economía y el paisaje de los entornos rurales (Kim *et al.*, 2020; Malu *et al.*, 2017; Trommsdorff *et al.*, 2022), a la vez que contribuye a paliar el conflicto por el uso del suelo, especialmente en los países con baja disponibilidad de terreno (Elborg, 2018; Trommsdorff *et al.*, 2022).

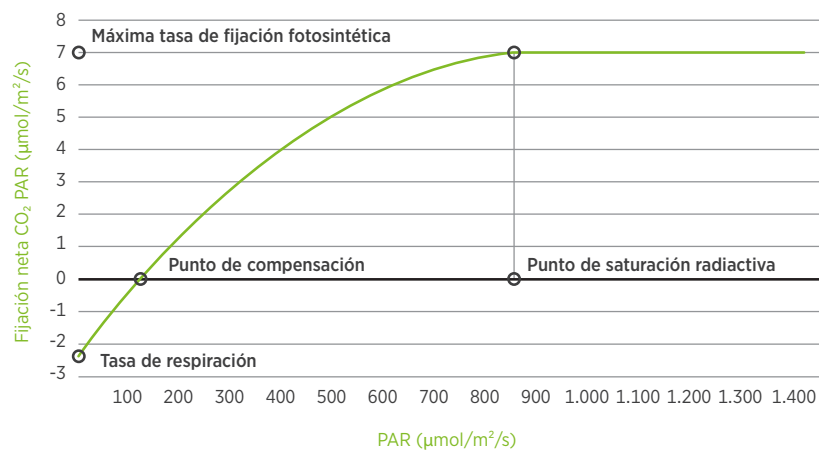
Más allá de estas ventajas, se han identificado múltiples sinergias entre ambas actividades, que repercuten positivamente en cada una de ellas. Así, por ejemplo, desde el punto de vista de la fotovoltaica, la evapotranspiración de los cultivos, o cantidad de agua evaporada a nivel del suelo, reduce la temperatura en los colectores solares, lo que puede repercutir en una mayor producción energética (Barron-Gafford *et al.*, 2019; Campana *et al.*, 2024; Kumpana-laisatit *et al.*, 2022). Además, la electricidad producida puede inyectarse a la red, impulsando la participación de las renovables en el mix energético.

Asimismo, ante el rechazo social que algunos sectores están evidenciando contra el modelo actual de implementación de la fotovoltaica, que conlleva la sustitución de grandes explotaciones agrícolas por macroproyectos fotovoltaicos en entornos rurales (Sociedad Española de Agricultura Ecológica y Agroecología, 2023), la integración de la agricultura y la fotovoltaica en los sistemas agrivoltaicos puede ayudar a paliar esta situación y mejorar la percepción social de la fotovoltaica, ofreciendo una solución alternativa para que los terrenos sean simultáneamente productores de energía y alimentos, dos bienes cuya demanda ha crecido en los últimas décadas por el aumento de la población mundial (United Nations, 2019).

Por otro lado, por lo que respecta a la actividad agrícola, la primera consecuencia de la instalación de paneles fotovoltaicos en una explotación agrícola no es otra sino el hecho de que dichos paneles bloquean parte de la irradiancia solar que llegaría al cultivo si estuviese totalmente expuesto al sol. Aunque, en primera instancia, esta reducción de la incidencia solar puede proteger al cultivo de altos niveles de radiación que podrían llegar a ser dañinos (Amaducci *et al.*, 2018; Dupraz *et al.*, 2011; Marrou, Guillioni, *et al.*, 2013; Weselek *et al.*, 2019), su influencia global sobre la producción agrícola puede ser positiva o negativa a dependiendo del tipo de cultivo (Amaducci *et al.*, 2018; Dupraz *et al.*, 2011; Majumdar & Pasqualetti, 2018; Marrou, Wery, *et al.*, 2013; Trommsdorff *et al.*, 2022; Weselek *et al.*, 2019) y de sus necesidades lumínicas para la fotosíntesis. La curva de respuesta fotosintética a la radiación PAR que incide sobre un cultivo (Figura 4) muestra que, a partir del denominado punto de compensación, para el que la planta inicia el proceso de fotosíntesis, la fijación neta de CO₂ aumenta con la radiación PAR incidente hasta alcanzar el denominado punto de saturación de la luz, a partir del cual el proceso de fotosíntesis se estabiliza independientemente de la radiación incidente. Por tanto, mayores niveles de incidencia de radiación PAR no repercuten en el desarrollo fenológico del cultivo (Stuart Chapin *et al.*, 2012). De acuerdo con esto, la idoneidad de un cultivo para su explotación en un sistema agrivoltaico depende de su punto de saturación de la luz y de un diseño técnico y una tasa de sombreado adecuados al mismo (Trommsdorff *et al.*, 2022).

Figura 4.
Curva de respuesta
fotosintética a la
luz de un cultivo
genérico

Fuente: elaboración propia.



Por otra parte, las sombras de los colectores pueden influir en la temperatura ambiente y del terreno de cultivo. En esta línea, estudios experimentales han demostrado que, si bien los efectos sobre la temperatura ambiente son menores, la temperatura del suelo sí disminuye significativamente (hasta 5 °C) en las zonas sombreadas bajo colectores respecto a la temperatura del suelo en las calles entre colectores o a pleno sol y, además, presenta una evolución diaria con máximos y mínimos menos pronunciados (Armstrong *et al.*, 2016; Marrou, Wery, *et al.*, 2013).

Otra de las variables agroclimáticas que se ven influenciadas por los niveles de radiación incidente en el terreno de cultivo es la evapotranspiración que aumenta con la radiación incidente (Allen *et al.*, 2006). Concretamente, se ha comprobado que sombreos de entre el 50 y el 70 %, pueden reducir la evapotranspiración entre un 10 y un 30 % (Marrou, Guilioni, *et al.*, 2013). Esto repercute en menores necesidades de agua para el cultivo (Barron-Gafford *et al.*, 2019) y contribuye a un mejor balance hídrico del suelo (Amaducci *et al.*, 2018; Dinesh & Pearce, 2016). Estas ventajas son especialmente relevantes para la actividad agrícola en regiones de clima cálido con frecuentes periodos de sequía u olas de calor extremo (Weselek *et al.*, 2019).

De acuerdo con esto, el papel de la radiación solar y su bloqueo por parte de los paneles fotovoltaicos resulta una cuestión fundamental en los sistemas agrivoltaicos, ya que tiene repercusiones importantes en el crecimiento del cultivo y su productividad, siendo necesario un buen dimensionamiento de la instalación fotovoltaica que, lejos de mermar la producción agrícola, contribuya a mejorarla en base a los beneficios anteriormente expuestos. Para ello, en primer lugar, es posible ajustar la densidad de paneles fotovoltaicos a las necesidades lumínicas del cultivo, reduciendo el Ground Cover Ratio de la instalación fotovoltaica (cociente entre la superficie de paneles PV y la superficie del terreno). Por otra parte, para conseguir una incidencia solar homogénea que repercuta positivamente en la uniformidad de crecimiento del cultivo, algunos autores proponen aumentar la altura de los colectores, utilizar colectores solares más pequeños y que incorporen la tecnología de doble vidrio semitransparente o diseñar configuraciones geométricas para la instalación fotovoltaica adecuadas a la actividad agrícola (Amaducci *et al.*, 2018; Nagashima, 2015; Trommsdorff *et al.*, 2021; Weselek *et al.*, 2019). En esta última línea, es posible desorientar las estructuras soporte de los colectores o dotar a los colectores fotovoltaicos de seguidores solares y diseñar estrategias de seguimiento que adecúen los niveles de irradiancia incidente en el cultivo a sus necesidades en cada fase de crecimiento y época del año (Dinesh & Pearce, 2016; Majumdar & Pasqualetti, 2018; Valle *et al.*, 2017).

En cualquier caso, estas acciones afectarían también a la producción eléctrica, ya que en un sistema agrivoltaico la radiación solar es compartida por la agricultura y fotovoltaica. Por ello, al diseñar sistemas agrivoltaicos, es importante recurrir a los mapas de sombreado y disponibilidad solar que proporcionan herramientas informáticas (Beck *et al.*, 2012; Fatnassi *et al.*, 2015; Massachusetts Department of Energy Resources, n.d.) o modelos de simulación como el propuesto por Nagashima que, de manera simple, relaciona la tasa de sombreado con el Ground Cover Ratio (Nagashima, 2015) u otros modelos más complejos que simulan la contribución de cada una de las componentes de la radiación solar (directa, difusa y reflejada) en función de la geometría del sistema agrivoltaico, el movimiento Tierra-Sol y las diferentes condiciones atmosféricas (Campana *et al.*, 2021; Casares de la Torre *et al.*, 2022; Pulido-Mancebo *et al.*, 2022). A partir de dichos mapas es posible encontrar un equilibrio idóneo que favorezca simultáneamente una mayor productividad del terreno y la protección de la actividad agrícola.

Por otro lado, los paneles fotovoltaicos resguardan al cultivo de los fenómenos meteorológicos adversos (fuertes rachas de viento, tormentas, granizo, etc.) (Trommsdorff *et al.*, 2022). Además, en caso de ser necesario, las estructuras soporte de los colectores pueden servir para sujetar sistemas de protección adicionales (Fraunhofer Institute, 2022).

Todos estos beneficios para el cultivo han llevado a diversos autores a afirmar que la agrivoltaica puede fortalecer al sector agrícola frente al Cambio Climático y sus principales efectos negativos, como son la disminución de niveles de precipitación o el aumento de frecuencia e intensidad de las olas de calor, las tormentas torrenciales o el granizo entre otros (Amaducci *et al.*, 2018; Trommsdorff *et al.*, 2022; Weselek *et al.*, 2019).

Por otra parte, desde un punto de vista económico, con la venta de la electricidad, la agrivoltaica permite aumentar y diversificar los ingresos asociados a un determinado terreno, lo que repercute positivamente en el rendimiento del mismo (Agostini *et al.*, 2021; Cuppari *et al.*, 2021; Dupraz *et al.*, 2011; Marrou, Wery, *et al.*, 2013; Trommsdorff *et al.*, 2022; Valle *et al.*, 2017). Con ello, la agrivoltaica puede ayudar a paliar la crisis de rentabilidad de la que el sector agrícola se viene quejando desde hace décadas debido a los bajos precios en origen con los que no se cubren los cada vez más elevados costes de producción. Además, la agrivoltaica protege el empleo en el sector agrícola a la vez que se genera nuevo empleo relacionado con la instalación y mantenimiento eléctrico de las plantas agrivoltaicas y la producción de energía. Además, se reduce el impacto visual de la fotovoltaica, protegiendo los paisajes y el turismo rural. En este sentido, frente al modelo actual de expansión de la fotovoltaica, la agrivoltaica favorece la economía en las zonas rurales, contribuyendo a paliar su despoblamiento (Kim *et al.*, 2020; Malu *et al.*, 2017).

Por todo ello, la agrivoltaica viene experimentando en las últimas décadas un significativo auge. Este auge ha sido incentivado por los planes gubernamentales de apoyo a la agrivoltaica de algunos países, tanto de Europa (Holanda, Alemania, Italia y Francia), como del resto del mundo (Estados Unidos, Corea del Sur, China, Japón, India, Israel). Fruto de este apoyo, la capacidad fotovoltaica instalada en plantas agrivoltaicas a nivel mundial ha aumentado desde los 5 MWp instalados en 2012 hasta los más de 15 GWp en 2024 (SolarPower Europe, n.d.).

Por lo que respecta a España, la primera iniciativa gubernamental de fomento de la agrivoltaica se enmarca en el Programa de Energías Renovables Innovadoras que publicó el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) el pasado mes de julio. En él se incluían subvenciones a fondo perdido y compatibles con otras ayudas de administraciones públicas nacionales, para proyectos innovadores de instalaciones agrivoltaicas con almacenamiento de energía (Programa 1), considerando como sistemas agrivoltaicos *«aquellos proyectos en los que se realice, sobre la misma superficie de terreno originalmente destinado a uso agrícola, un uso combinado para la producción agrícola y la generación de energía fotovoltaica, siempre que se priorice el uso agrícola como uso principal, y la producción de energía tenga un fin secundario»*. Por lo que respecta a la configuración de instalación agrivoltaica subvencionable se contemplaban tres tipologías: i) Agrivoltaica intercalada con el cultivo (Subprograma 1.1.); ii) Agrivoltaica con estructura sobre el cultivo y altura de colectores entre 2 y 4 m (Subprograma 1.2.) y iii) Agrivoltaica con estructura sobre el cultivo y altura de colectores superior a 4 m (Subprograma 1.3.). En cualquier caso, las instalaciones subvencionables, ya sean aisladas, conectadas a la red o de autoconsumo, requerían una potencia de generación fotovoltaica superior a 200 kWp, si bien se permitía conseguir esta potencia mediante la agrupación de proyectos agrivoltaicos individuales con potencia superior a 15 kWp. Asimismo, la proyección sobre el terreno de la instalación fotovoltaica debía ser inferior al 40 % de la superficie total del proyecto, aunque, en

caso de agrivoltaica elevada, esta cobertura podía aumentar hasta el 80 % con la incorporación de paneles fotovoltaicos con una transparencia igual o superior al 25 %. Por otra parte, las estructuras y subestructuras de la instalación fotovoltaica no podían ocupar más del 10 % de la superficie total del proyecto y su disposición debía garantizar el posible desempeño de las labores agrícolas. Finalmente, se requería que, en el caso en que el promotor del proyecto no realizara la actividad agrícola, debía existir un acuerdo vinculante entre promotor y agricultor para definir y garantizar la actividad agrícola y su compatibilidad con la producción de energía. Por otra parte, para fomentar un mayor conocimiento del comportamiento de la agrivoltaica en nuestro país, se valoraba positivamente la inclusión en el proyecto de una parcela testigo, sistemas de medida de datos, así como la firma de un convenio con universidades o centros de investigación. De esta forma, este programa, pendiente de resolución, sienta las bases de la agrivoltaica en España y supondrá un impulso fundamental para su despliegue en nuestro entorno.

4. Experiencias agrivoltaicas desarrolladas en España

Si bien en España la agrivoltaica está en una fase muy inicial de implementación, existen ya en la actualidad algunas experiencias iniciales autodenominadas agrivoltaicas en explotación. Asimismo, se están desarrollando varias investigaciones que analizan el comportamiento de los cultivos característicos de nuestro territorio bajo estas circunstancias de sombreado y estudian diseños, tecnologías e innovaciones que promuevan un mayor éxito de la agrivoltaica en nuestro país. En este epígrafe se presentan algunas de estas instalaciones y sus principales características.

En el ámbito de los invernaderos agrivoltaicos, cabe señalar, por un lado, el invernadero «El Coronil», ubicado en el municipio homónimo en Sevilla. Este invernadero, con una superficie de 26.000 m², se dedica al cultivo de setas, pitaya y plantas de interior para su comercialización. Aprovechando los aleros orientados al Sur de la cubierta, se ha instalado una planta fotovoltaica de 1 MW. Por otro lado, en Picassent (Valencia), la empresa Inderen S.L. ha construido un invernadero agrivoltaico de 400 m² y 50 kW de potencia fotovoltaica para cultivo de pitaya y aguacate.

Por otra parte, en Guadamur (Toledo) se encuentra la explotación «Viñedos del Río Tajo» del grupo Iberdrola S.A. Se trata de una explotación agrícola preexistente en la que se cultiva viñedo en setos plantados a lo largo de filas orientadas en dirección Norte-Sur, con una distancia entre setos de 4 m. Para su reconversión a explotación agrivoltaica se han integrado en el cultivo tres seguidores solares N-S de 30 m de longitud que alcanzan una potencia fotovoltaica de 40 kW que se utiliza para el autoconsumo en la bodega propia de la explotación. Concretamente, los seguidores se han dispuesto sustituyendo parte del cultivo en tres de los setos de la explotación, dejando cuatro filas completas de setos entre cada pareja de seguidores (Figura 5). Asimismo, se han monitorizado diversas variables agroclimáticas de interés para la caracterización del sistema y para conseguir una estrategia de seguimiento solar, gobernada mediante técnicas de inteligencia artificial, que persigue una reducción de 2 °C en la temperatura del cultivo.

Figura 5. Instalación agrivoltaica «Viñedos del Río Tajo»



Fuente: Imágenes cedidas por Iberdrola S.A.

Otro ejemplo de interés se encuentra en Fuentealbilla (Albacete) donde la empresa Huerto Tornasol S.L. dispone de dos plantas agrivoltaicas a menos de 1 km de distancia entre ellas: «Huerto Carrasco» y «Huerto Los Hitos». En la primera se han integrado 180 seguidores a dos ejes con una potencia de 0,9 MW en un viñedo preexistente respetando su actividad agrícola. De manera análoga, en «Huerto Los Hitos» el mismo número de seguidores solares se ha integrado respetuosamente con un cultivo de ciruelos consiguiendo un sistema agrivoltaico con 1,8 MW de potencia fotovoltaica (Figura 6).

Figura 6. Instalación agrivoltaica «Huerto Los Hitos»



Fuente: Imágenes cedidas por Huerto Tornasol S.L.

En el ámbito de la investigación, el Centro Tecnológico Nacional Agroalimentario de Extremadura (CTAEX) participa en los estudios previos para el aprovechamiento agrivoltaico de tres plantas fotovoltaicas convencionales. Concretamente, estos ensayos se localizan en las siguientes instalaciones: i) la Planta de Augusto, en Badajoz (con 50 MW de potencia PV y 185 ha), ii) Las Corchas en Carmona, Sevilla (con 50 MW de potencia PV y 143 ha) y iii) Valdecaballeros en Casas de Don Pedro y Talarrubias, Badajoz (con 42,8 MW de potencia PV y 100 ha). Similarmente, el Instituto Murciano de Investigación, Desarrollo Agrario y Medioambiental (IMIDA) participa en la reconversión de la planta PV «Flota Los Álamos» (con 84,2 MW de potencia PV y 70 ha). En todos los casos se trata de centrales fotovoltaicas convencionales, mayoritariamente con seguidores de eje horizontal en dirección N-S. Para esta reconversión, se han incorporado cultivos de hortalizas y pitaya en pequeñas parcelas cuya extensión oscila entre 3 y 10 ha. Asimismo, para la siega de los cultivos se propone el pastoreo y en la instalación de Las Corchas (Carmona, Sevilla) se ha incluido un pequeño apiario demostrativo. Sin embargo, en ninguno de los casos se ha modificado el diseño de la planta fotovoltaica inicial, ni su modo de operación atendiendo a las necesidades del sistema agrario, ni se ha definido una estrategia centrada en la protección de la actividad agrícola.

Recientemente, el Instituto de Investigación y Tecnología Agroalimentaria (IRTA) ha iniciado un ensayo agrivoltaico en Mollerussa (Lleida) en una plantación de manzanos (Figura 7). La experiencia combina dos variedades de cultivo, manzana Golden y Gala, y dos tecnologías fotovoltaicas, seguidores solares con módulos bifaciales y colectores fijos semitransparentes, en ambos casos a una altura máxima de 5,5 m. La superficie de la instalación es de 2.880 m² y la potencia fotovoltaica instalada de 165 kW (Instituto de Investigación y Tecnología Agroalimentaria, n.d.).

Figura 7. Instalaciones agrivoltaicas del IRTA



Fuente: Imágenes cedidas por IRTA (Instituto de Investigación y Tecnología Agroalimentaria, n.d.).

En octubre de 2024 se ha presentado la primera planta agrivoltaica, también experimental, sobre olivar tradicional (Figura 8). Este ensayo, emplazado en Navas de San Juan (Jaén) y promovido por Fundación Jaén Agritech Ventures, evalúa diversas tecnologías de módulos fotovoltaicos, configurando colectores elevados sobre los olivos con estructuras de dos pies, situados a ambos lados del tronco del olivo. La potencia de cada subinstalación varía, siendo aproximadamente de 5 kWp (*La Fundación JAV de Villacarrillo Presenta El Campo Solar Agrivoltaico En Navas de San Juan*, n.d.).

Figura 8. Proyecto agrivoltaico Navas de San Juan (Jaén)



Fuente: Imágenes cedidas por Fundación JAV.

Finalmente, cabe destacar el proyecto que la empresa Baywa R.E ha desarrollado en Alhendín (Granada). Se trata de una central fotovoltaica de 54 MWp de potencia instalados en una superficie de 80 ha en la que se combinan paneles fotovoltaico fijos, con seguimiento solar y tecnología agrivoltaica. La principal novedad de este proyecto es que el sistema agrivoltaico, que ocupa el 10 % de la superficie total del proyecto, se ha diseñado exprofeso obedeciendo a criterios agrícolas y adaptando el diseño de la correspondiente planta fotovoltaica a las necesidades del cultivo y de las labores y maquinaria que se emplean para su explotación. Para ello, los colectores se disponen sobre estructuras elevadas y con una distancia entre filas superior a la de una planta fotovoltaica convencional. Además, los colectores incorporan un sistema de recogida de agua de lluvia que se destinará al riego del cultivo, reduciendo las necesidades hídricas de la explotación. Por otra parte, la actividad agrícola será desarrollada por agricultores locales, contribuyendo a reforzar la economía rural de la zona.

5. Retos y potencial de la agrivoltaica en España

Más allá de estas experiencias descritas, en los últimos meses se está evidenciando un creciente interés por la agrivoltaica en España y todo apunta a que a plazo medio/corto va a experimentar un despliegue significativo. Ante esas circunstancias es especialmente importante que la expansión de este nuevo modelo productivo dual se base en el conocimiento científico de la tecnología para resolver los principales retos a los que se enfrenta.

En este sentido, en primer lugar, es necesario identificar aquellos cultivos de interés para los agricultores y la economía del país que pueden presentar un buen comportamiento agrivoltaico. A este respecto, es necesario señalar que, actualmente, no existe suficiente literatura científica que recoja resultados de estudios experimentales prolongados en el tiempo que analicen el desarrollo y productividad de los cultivos agrivoltaicos en el clima mediterráneo, siendo necesario acudir a estudios desarrollados en otros países cuyos resultados no se pueden considerar extrapolables en su totalidad por el carácter local de estos estudios que dependen en gran medida de la climatología del lugar. Sin embargo, existen evidencias científicas de que, gracias a la sombra de los colectores solares, diversos cultivos mejoran su productividad especialmente en climas de calor intenso y seco, como el clima mediterráneo (Marrou, Dufour, *et al.*, 2013; Marrou, Wery, *et al.*, 2013; Trommsdorff *et al.*, 2022). Uno de estos cultivos que se benefician de la sombra y la protección de los colectores frente a las altas temperaturas, es la patata (Weselek *et al.*, 2019) del que se cultivan en España 2,15 millones de toneladas al año (principalmente en Castilla León), lo que supone el 1,7 % de la Producción Vegetal y el 1,0 % de la Producción de la Rama Agraria de nuestro país (Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, n.d.). De manera análoga, parece razonable pensar que el Trigo, puede desarrollarse bien en sistemas agrivoltaicos ya que se ha comprobado que su rentabilidad aumenta cuando la tasa de sombreado es baja y las condiciones climatológicas son calurosas (Artru *et al.*, 2017; Weselek *et al.*, 2019), como es el caso de las llanuras de Castilla y León, Castilla-La Mancha y Andalucía, donde predomina este cultivo, el segundo a nivel nacional, por detrás de la cebada, con más de 6.000 miles de toneladas de producción al año (Statista, 2023). Asimismo, la rentabilidad del maíz también aumenta en sistemas agrivoltaicos con baja densidad de paneles fotovoltaicos (Artru *et al.*, 2017), por lo que también puede resultar un cultivo a tener en consideración en el panorama español de la agrivoltaica.

Pero uno de los cultivos españoles que pueden verse especialmente beneficiados por la sombra de los colectores solares es la vid. El aumento de las temperaturas, como consecuencia del cambio climático, está siendo especialmente perjudicial para este cultivo, ya que se acelera su desarrollo fenológico, adelantando la maduración del fruto a los meses de verano donde las temperaturas son especialmente elevadas llegando a provocar que el fruto se seque y afectando negativamente a la calidad del vino (Duchêne *et al.*, 2010). En estas condiciones, algunos estudios han demostrado que en el marco de sistemas agrivoltaicos con baja densidad de colectores solares, la sombra de estos sobre la vid disminuye la aceleración del desarrollo fenológico y aumenta el rendimiento del cultivo (Malu *et al.*, 2017; Tiffon-Terrade *et al.*, 2020).

Finalmente, algunos estudios recientes analizan el posible papel del olivar en sistemas agrivoltaicos encontrando ventajosos resultados (Casares de la Torre *et al.*, 2022; Pulido-Mancebo *et al.*, 2022). Concretamente, un modelo matemático que simula la producción de aceite y de energía fotovoltaica en un olivar en seto agrivoltaico arroja como resultado que, con un diseño adecuado (tamaño, altura e interdistancia de colectores), la productividad del terreno aumenta cuando se combinan ambas actividades productivas (Varo-Martínez *et al.*, 2024). Es, por tanto, fundamental desarrollar estudios experimentales que validen todos estos datos y permitan verificar la idoneidad de nuestros cultivos en sistemas agrivoltaicos con los condicionantes geográficos y climatológicos de nuestro entorno.

Esta falta de estudios experimentales y experiencia práctica sobre sistemas agrivoltaicos en nuestro territorio también genera múltiples dudas en lo que respecta a las condiciones de diseño óptimas de los sistemas agrivoltaicos. En este sentido, es necesario tener en cuenta que las características del cultivo y las labores y maquinarias agrícolas que se requieren para su explotación condicionan el diseño de los sistemas fotovoltaicos, imponiendo requisitos de altura y separación de colectores. Simultáneamente, estos requisitos técnicos y, en especial, la altura de los colectores, conllevan exigencias adicionales que aumentan la complejidad de la instalación y su manejo. Así, por ejemplo, la cimentación de las estructuras soporte de los colectores solares se plantea como un reto agrivoltaico. Y es que, a mayor altura de los colectores, mayores son las cargas de viento que deben soportar las estructuras y, por tanto, mayores las necesidades de cimentación. Por otro lado, la necesidad de hacer la producción energética compatible con la agricultura obliga a que las cimentaciones ocupen la menor extensión de terreno posible para dejar espacio al cultivo. Además, los agricultores y propietarios de los terrenos no ven con buenos ojos el uso del hormigón y demandan cimentaciones que sean fácilmente reversibles.

Por otro lado, las labores de mantenimiento de los colectores solares elevados conllevan la necesidad de desarrollar un Plan de Prevención de Riesgos Laborales que proteja a los trabajadores encargados de estas actividades (Dos Santos, 2020) y los requerimientos adicionales repercuten en un mayor coste de las estructuras y, por tanto, de la inversión inicial necesaria, lo que puede dificultar el despliegue de la agrivoltaica en nuestro país.

El diseño de las estructuras agrivoltaicas también condiciona el crecimiento del cultivo ya que, para estructuras no muy elevadas, no habrá homogeneidad en la radiación incidente sobre el cultivo, lo cual perjudica a la producción agrícola, especialmente en el caso de los cultivos herbáceos (Dupraz *et al.*, 2011), siendo necesario encontrar un equilibrio entre esta homogeneidad de incidencia solar y una altura de colectores que no implique un alto nivel de complejidad técnico y coste económico.

Por todo ello, el diseño de estructuras agrivoltaicas optimizadas que tengan en consideración la seguridad, el impacto sobre el suelo, el perfil de la incidencia solar sobre el terreno y el coste económico, entre otros múltiples factores, se plantea como un reto agrivoltaico ante el que proponer soluciones tecnológicas basadas en la investigación y la innovación.

También es necesario desarrollar nuevas soluciones técnicas para minimizar el posible impacto de la suciedad que se pueda depositar sobre los colectores solares como consecuencia

del uso de productos agrícolas, ya que esto provocaría pérdidas en la producción eléctrica (Jung *et al.*, 2022). En este sentido, algunos autores afirman que, en zonas donde las precipitaciones no sean frecuentes, sería necesario desarrollar sistemas en los que el uso del agua se compatibilice para el riego y la autolimpieza de los paneles fotovoltaicos (Jung *et al.*, 2022).

Otro escollo técnico importante que afrontar es la dificultad de inyectar a la red la energía eléctrica que se produzca en las plantas agrivoltaicas, por la falta de nodos con capacidad de acceso a red en las zonas con potencial agrivoltaico (López-Luque *et al.*, 2023). En este sentido, es importante que las actuaciones a desarrollar en el marco del Plan de Desarrollo de la Red de Transporte de Energía Eléctrica 2021-2026 refuercen los puntos de conexión a la red eléctrica en las regiones con potencial agrivoltaico.

Por lo que respecta a los aspectos políticos y sociales, el principal reto al que se enfrenta la agrivoltaica en España es a la falta de legislación que regule este nuevo modelo productivo dual. En este sentido, países de nuestro entorno como Alemania, Francia e Italia, han desarrollado un marco normativo que regula el concepto de Agrivoltaica y sus características y sobre él se han definido políticas de incentivación. Sin embargo, en España, si bien el Programa de Energías Renovables Innovadoras publicado por el IDAE el pasado mes de julio introduce los principios básicos del concepto de agrivoltaica o los requisitos básicos que deben incorporar este tipo de sistemas, está aún por definir un marco legislativo que profundice en estos aspectos y aborde cuestiones importantes como la compatibilidad con la Política Agraria Común o la legislación medioambiental, entre otras.

Sin embargo, existen otros retos importantes en el ámbito económico y social como son la necesidad de definir nuevos modelos de negocio adecuados a la agrivoltaica, impulsar redes para favorecer el contacto entre los diferentes agentes involucrados en los sistemas agrivoltaicos (promotores, agricultores, empresas energéticas, etc.) y promover iniciativas conjuntas o divulgar el concepto de la agrivoltaica y el conocimiento que se va generando en torno a este modelo para contribuir, por un lado, a generar una mayor aceptación social y, por otro lado, avanzar en la optimización del modelo agrivoltaico. En esta línea, recientemente se ha puesto en marcha una nueva iniciativa denominada «*Agrivoltea*» (Grupo de Investigación Física para las Energías y Recursos Renovables, 2025) que consiste en una plataforma en línea abierta y colaborativa, que tiene por objetivo dinamizar el sector agrivoltaico en España, compartiendo conocimiento e iniciativas y estableciendo redes de contacto entre los agentes interesados en agrivoltaica.

A pesar de todos estos retos, de lo que se ha expuesto a lo largo de este capítulo se deduce que la implantación de la agrivoltaica puede conllevar importantes beneficios para el medioambiente, la economía del país y la sociedad en general. A modo de resumen, en primer lugar, la agrivoltaica integra positivamente la producción de energía limpia con la de alimentos, avanzando hacia un planeta más sostenible en el que se dé valor al bienestar de la población y la calidad del medioambiente (Marrou, Guillioni, *et al.*, 2013; Ott *et al.*, 2022), mientras se favorece la autonomía energética y alimentaria del país (Pulido-Mancebo *et al.*, 2022). En segundo lugar, la agrivoltaica permite optimizar el rendimiento económico del terreno (Agostini *et al.*, 2021; Cuppari *et al.*, 2021; Dupraz *et al.*, 2011; Marrou, Wery, *et al.*, 2013;

Valle *et al.*, 2017) y protege la mano de obra agrícola, a la vez que se genera nuevo empleo asociado al mantenimiento de las instalaciones, potenciando la economía de las zonas rurales (Kim *et al.*, 2020; Malu *et al.*, 2017). Con todo ello, se contribuye a mejorar la aceptación social sobre la tecnología fotovoltaica cuya implementación es necesaria para avanzar en la transición hacia un modelo energético más amigable con el medioambiente.

Por todo ello, si bien sigue siendo necesario profundizar en su conocimiento científico-técnico para solventar los retos pendientes, la agrivoltaica ha venido para revolucionar dos sectores económicos y productivos importantes en nuestro país, como son la agricultura y la energía, ofreciendo soluciones innovadoras a algunos de los problemas a los que se enfrenta nuestro planeta (Cambio Climático, conflicto por el uso del suelo, aumento de la población y de las demandas de energía y alimentos, etc.), por lo que presenta un futuro prometedor al que debemos abrirnos para avanzar hacia un planeta más sostenible.

Referencias bibliográficas

- Agostini, A.; Colauzzi, M.; Amaducci, S. (2021): «Innovative agrivoltaic systems to produce sustainable energy: An economic and environmental assessment»; en *Applied Energy*, 281.
- Allen, R.; Pereira, L.; Raes, D.; Smith, M. (2006): *ETc bajo condiciones de estrés hídrico. In Food and Agriculture Organization (Eds.); Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos (Parte C. Evapotranspiración del cultivo en condiciones no estándar)* (EST. RIEGO Y DRENAJE, Vol. 56, pp. 161-182).
- Amaducci, S.; Yin, X.; Colauzzi, M. (2018): «Agrivoltaic systems to optimise land use for electric energy production»; en *Applied Energy*, 220, 545-561. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.03.081>
- Armstrong, A.; Ostle, N. J.; Whitaker, J. (2016): «Solar park microclimate and vegetation management effects on grassland carbon cycling», en *Environmental Research Letters*, 11(7), 074016. Disponible en: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/7/074016>
- Artru, S.; Garré, S.; Dupraz, C.; Hiel, M. P.; Blitz-Frayret, C.; Lassois, L. (2017): «Impact of spatio-temporal shade dynamics on wheat growth and yield, perspectives for temperate agroforestry»; en *European Journal of Agronomy*, 82, 60-70. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.EJA.2016.10.004>
- Asociación Española de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) (2023): *El gobierno exime de la evaluación de impacto ambiental a los proyectos de energías renovables, independientemente de su tamaño*. Asociación Española de Evaluación Del Impacto Ambiental. Disponible en: <https://www.eia.es/nota-de-prensa-rdl-20-2022/>
- Barron-Gafford, G. A.; Pavao-Zuckerman, M. A.; Minor, R. L.; Sutter, L. F.; Barnett-Moreno, I.; Blackett, D. T.; Thompson, M.; Dimond, K.; Gerlak, A. K.; Nabhan, G. P.; Macknick, J. E. (2019): «Agrivoltaics provide mutual benefits across the food-energy-water nexus in drylands»; en *Nature Sustainability* 2019, 2:9, 2(9), 848-855. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0364-5>
- Beck, M.; Bopp, G.; Goetzberger, A.; Obergfell, T.; Reise, C.; Schindele, S. (2012): «Combining PV and Food Crops to Agrophotovoltaic – Optimization of Orientation and Harvest»; en *27th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition*, 3-936338-28-0, 4096-4100. Disponible en: <https://doi.org/10.4229/27THEUPVSEC2012-5AV.2.25>
- Campana, P. E.; Stridh, B.; Amaducci, S.; Colauzzi, M. (2021): «Optimisation of vertically mounted agrivoltaic systems»; en *Journal of Cleaner Production*, 325, 129091. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.129091>
- Campana, P. E.; Stridh, B.; Hörndahl, T.; Svensson, S. E.; Zainali, S.; Lu, S. M.; Zidane, T. E. K.; de Luca, P.; Amaducci, S.; Colauzzi, M. (2024): «Experimental results, integrated model validation, and economic aspects of agrivoltaic systems at northern latitudes»;

- en *Journal of Cleaner Production*, 437, 140235. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2023.140235>
- Casares de la Torre, F. J.; Varo-Martinez, M.; López-Luque, R.; Ramírez-Faz, J.; Fernández de Ahumada, L. M. (2022): «Design and analysis of a tracking / backtracking strategy for PV plants with horizontal trackers after their conversion to agrivoltaic plants»; en *Renewable Energy*. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2022.01.081>
- Cuppari, R. I.; Higgins, C. W.; Characklis, G. W. (2021): «Agrivoltaics and weather risk: A diversification strategy for landowners»; en *Applied Energy*, 291, 116809. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2021.116809>
- Dinesh, H.; Pearce, J. M. (2016): «The potential of agrivoltaic systems»; en *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, pp. 299-308). Elsevier Ltd. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.024>
- Dos Santos, CNL (2020): *Agrivoltaic system: A possible synergy between agriculture and solar energy*.
- Duchêne, E.; Huard, F.; Dumas, V.; Schneider, C.; Merdinoglu, D. (2010): «The challenge of adapting grapevine varieties to climate change»; en *Climate Research*, 41(3), 193-204. Disponible en: <https://doi.org/10.3354/CR00850>
- Dupraz, C.; Marrou, H.; Talbot, G.; Dufour, L.; Nogier, A.; Ferard, Y. (2011): «Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use: Towards new agrivoltaic schemes»; en *Renewable Energy*, 36(10), 2725-2732. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.03.005>
- Elborg, M. (2018): *Reducing Land Competition for Agriculture and Photovoltaic Energy Generation. A Comparison of Two Agro-Photovoltaic Plants in Japan*. National Institute for Materials Science, International Center for Young Scientists. Disponible en: <https://www.ijsr.net/archive/v6i9/1081704.pdf>
- Evans, M. E.; Adam Langley, J.; Shapiro, F. R.; Jones, G. F. (2022): «A Validated Model, Scalability, and Plant Growth Results for an Agrivoltaic Greenhouse»; en *Sustainability (Switzerland)*, 14(10). Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su14106154>
- EWS Consulting GmbH. (2025): «EWS Sonnenfeld®: electricidad de la granja»; en *Retrieved February*, 27. Disponible en: <https://www.ews-sonnenfeld.com/>
- Fatnassi, H.; Poncet, C.; Bazzano, M. M.; Brun, R.; Bertin, N. (2015): «A numerical simulation of the photovoltaic greenhouse microclimate»; en *Solar Energy*, 120, 575-584. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.SOLENER.2015.07.019>
- Fraunhofer Institute. (2022): *Agrivoltaics: Opportunities for Agriculture and the Energy Transition*. Fraunhofer ISE Institute. (n.d.). *Agrivoltaics*. Retrieved February 12, 2025. Disponible en: <https://agri-pv.org/en/press-media/media/>

- Fundación JAV (2024): *La Fundación JAV de Villacarrillo presenta el campo solar agrovoltaico en Navas de San Juan*. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=ZTx0eUiplUO>
- Goetzberger, A.; Zastrow, A. (1982): «On the Coexistence of Solar-Energy Conversion and Plant Cultivation»; en *International Journal of Solar Energy*, 1(1), 55-69. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/01425918208909875>
- Grupo de Investigación Física para las Energías y Recursos Renovables. (2025): *AGRIVOLTEA: Plataforma colaborativa para impulsar la agrovoltaica*. Disponible en: <https://agrivoltea.org/>
- Instituto de Investigación y Tecnología Agroalimentaria. (2024): «*El IRTA pone en marcha el primer proyecto piloto de energía agrovoltaica en frutales de Cataluña*»; en IRTA. Disponible en: <https://www.irta.cat/es/el-irta-pone-en-marcha-el-primer-proyecto-piloto-de-energia-agrovoltaica-en-frutales-de-cataluna/>
- Jung, D., Gareis, G. H.; Staiger, A.; Salmon, A. (2022): «Effects of soiling on agrovoltaic systems: Results of a case study in Chile»; en *AIP Conference Proceedings*, 2635(1), 020001. Disponible en: <https://doi.org/10.1063/5.0107943>
- Kim, B.; Kim, C.; Han, S.; Bae, J.; & Jung, J. (2020): «Is it a good time to develop commercial photovoltaic systems on farmland? An American-style option with crop price risk»; en *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 125 (February), 109827. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109827>
- Kumpanalaisatit, M.; Setthapun, W.; Sintuya, H.; Pattiya, A.; Jansri, S. N. (2022): «Current status of agrovoltaic systems and their benefits to energy, food, environment, economy, and society»; en *Sustainable Production and Consumption*, 33, 952-963. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.08.013>
- López-Díaz, G.; Carreño-Ortega, A.; Fatnassi, H.; Poncet, C.; Díaz-Pérez, M. (2020): «The Effect of Different Levels of Shading in a Photovoltaic Greenhouse with a North-South Orientation»; en *Applied Sciences* 2020, Vol. 10, Page 882, 10(3), 882. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/AP10030882>
- López-Luque, R.; Fernández de Ahumada, L. M.; Gallego-Rodríguez, P.; Gómez-Uceda, F. J.; Muñoz-Peinado, J.; Fernández-García, P.; Pulido-Mancebo, J. S.; Ramírez-Faz, J. C.; Varo-Martínez, M. M. (2023): *Informe Prospectivo sobre la Situación de la Energía Agrivoltaica*. Disponible en: https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/publicaciones/informeprospectivoagrovoltaica2023_tcm30-696022.pdf
- Majumdar, D.; Pasqualetti, M. J. (2018): «Dual use of agricultural land: Introducing ‘agrovoltaics’ in Phoenix Metropolitan Statistical Area, USA»; en *Landscape and Urban Planning*, 170, 150-168. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.10.011>
- Malu, P. R.; Sharma, U. S.; Pearce, J. M. (2017): «Agrovoltaic potential on grape farms in India»; en *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 23, 104-110. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.SETA.2017.08.004>

- Marrou, H.; Dufour, L.; Wery, J. (2013): «How does a shelter of solar panels influence water flows in a soil-crop system?»; en *European Journal of Agronomy*, 50, 38-51. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.05.004>
- Marrou, H.; Guilioni, L.; Dufour, L.; Dupraz, C.; Wery, J. (2013): «Microclimate under agrivoltaic systems: Is crop growth rate affected in the partial shade of solar panels?»; en *Agricultural and Forest Meteorology*, 177, 117-132. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.agrfor-met.2013.04.012>
- Marrou, H.; Wery, J.; Dufour, L.; Dupraz, C. (2013): «Productivity and radiation use efficiency of lettuces grown in the partial shade of photovoltaic panels»; en *European Journal of Agronomy*, 44, 54-66. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2012.08.003>
- Massachusetts Department of Energy Resources (2023): *DUAL-USE SHADING ANALYSIS TOOL*. Disponible en: <http://s3.us-east-2.amazonaws.com/bluewave-shade/jan23-1002/index.html>
- Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación (2024): *Producción Agrícola de la Patata en España*. Disponible en: <https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/producciones-agricolas/patata/>
- Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación (2024): *Informe Anual de Indicadores AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN 2023*.
- Nagashima, A. (2015): *Solar Sharing-changing the world and life*. Access International Ltd.
- Nonhebel, S. (2005): «Renewable energy and food supply: will there be enough land?»; en *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 9(2), 191-201. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2004.02.003>
- Ott, E. M.; Kabus, C. A.; Baxter, B. D.; Hannon, B.; Celik, I. (2022): «Environmental Analysis of Agrivoltaic Systems»; en *Comprehensive Renewable Energy*, 127-139. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819727-1.00012-1>
- Pulido-Mancebo, J. S.; López-Luque, R.; Fernández de Ahumada, L. M.; Ramírez-Faz, J. C.; Gómez-Uceda, F. J.; Varo-Martínez, M. (2022): «Spatial Distribution Model of Solar Radiation for Agrivoltaic Land Use in Fixed PV Plants»; en *Agronomy*, 12(11), 2799. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/agronomy12112799>
- Sociedad Española de Agricultura Ecológica y Agroecología (2023): *Renovables Sí, pero NO así*. Disponible en: <https://agroecologia.net/renovables-si-pero-no-asi-aliente/>
- Solar Power Europe (2024): *Agrisolar Digital Map*. Disponible en: <https://agrisolareurope.org/map/>
- Statista (2023): *Producción de Trigo en España*. Disponible en: <https://es.statista.com/estadisticas/501794/produccion-de-trigo-en-comunidades-autonomas-de-espana/>

- Stuart Chapin, F.; Matson, P. A.; Vitousek, P. M. (2012): «Principles of terrestrial ecosystem ecology»; en *Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology*, 1-529. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9504-9/COVER>
- Tiffon-Terrade, B.; Boulord, R.; Pechier, P.; Simonneau, T.; Saurin, N.; Caffarra, A.; Christophe, A. (2020): «Effect of Shading on Phenological Development of Grapevines»; en *International Conference Agrivoltaics, 2020*.
- Trommsdorff, M.; Dhal, I. S.; Özdemir, Ö. E.; Ketzer, D.; Weinberger, N.; Rösch, C. (2022): «Agrivoltaics: Solar power generation and food production»; en *Solar Energy Advancements in Agriculture and Food Production Systems*. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-89866-9.00012-2>
- Trommsdorff, M.; Kang, J.; Reise, C.; Schindele, S.; Bopp, G.; Ehmann, A.; Weselek, A.; Högy, P.; Obergfell, T. (2021): «Combining food and energy production: Design of an agrivoltaic system applied in arable and vegetable farming in Germany»; en *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 140. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110694>
- Unión Española Fotovoltaica (2024): *Forjando la Transformación hacia la Sostenibilidad*; en Informe Anual UNEF 2024.
- United Nations (2019): World Population Prospects 2019. In *Department of Economic and Social Affairs*; en World Population Prospects 2019.
- Valle, B.; Simonneau, T.; Sourd, F.; Pechier, P.; Hamard, P.; Frisson, T.; Ryckewaert, M.; Christophe, A. (2017): «Increasing the total productivity of a land by combining mobile photovoltaic panels and food crops»; en *Applied Energy*, 206, 1495-1507. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.09.113>
- Varo-Martínez, M.; López-Bernal, A.; Fernández de Ahumada, L. M.; López-Luque, R.; & Villalobos, F. J. (2024): «Simulation model for electrical and agricultural productivity of an olive hedgerow Agrivoltaic system»; en *Journal of Cleaner Production*, 477, 143888. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.143888>
- Weselek, A.; Ehmann, A.; Zikeli, S.; Lewandowski, I.; Schindele, S.; & Högy, P. (2019): «Agrophotovoltaic systems: applications, challenges, and opportunities. A review»; en *Agronomy for Sustainable Development*, 39(4). Disponible en: <https://doi.org/10.1007/S13593-019-0581-3/FIGURES/1>