

Modalidad: Artículo profesional y de investigación

Agrofotovoltaica: un enfoque innovador para la sostenibilidad agrícola y energética

Wellington Mezzomo¹ · Conrado Fleck dos Santos² · Luis Bahu Ben¹
Diego Barreto¹ · Rogério Ricalde Torres^{1,3} · Santiago Jaunarena¹



¹Ingeniería en Agua y Desarrollo Sostenible, Universidad Tecnológica, Durazno, Uruguay; wellington.mezzomo@utec.edu.uy ORCID: 0000-0002-1169-0620, luis.bahu@utec.edu.uy ORCID: 0000-0003-4284-3789, diego.barreto@utec.edu.uy ORCID: 0000-0003-2539-0319, santiago.jaunarena@utec.edu.uy

²Ingeniería en Energías Renovables, Universidad Tecnológica, Durazno, Uruguay; conrado.fleck@utec.edu.uy

³Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Rio Grande do Sul, Brasil; rogerio.torres@vacaria.ifrs.edu.br ORCID: 0000-0002-4590-1473

Resumen

La Agrofotovoltaica (AFV) es una tecnología innovadora que combina la generación de energía solar con actividades agrícolas, ofreciendo soluciones para desafíos críticos como la seguridad alimentaria, la generación de energía sostenible y la mitigación del cambio climático. Este artículo explora cómo la AFV se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) y presenta oportunidades globales y específicas de Uruguay. La AFV ha demostrado su capacidad para aumentar significativamente la eficiencia del uso de la tierra al permitir que los paneles solares coexistan con cultivos, lo que puede estabilizar la producción de alimentos y energía, simultáneamente. Países como Alemania, India y Chile han implementado proyectos piloto exitosos que muestran beneficios económicos, sociales y ambientales. Uruguay, con su alta radiación solar, se encuentra en una posición favorable para

adoptar la AFV. La tecnología ofrece oportunidades para mejorar la eficiencia de los recursos naturales, aumentar la seguridad alimentaria y reducir el impacto ambiental de la agricultura y la generación de energía. La Universidad Tecnológica de Uruguay (UTEC) lidera investigaciones en el país para evaluar técnicamente la eficiencia del uso del suelo, agua, energía, así como la viabilidad económica de dicha tecnología en el contexto local.

A pesar de sus beneficios, la implementación de la AFV enfrenta desafíos, como la inversión inicial, capacitación de agricultores, aceptación cultural, entre otros. Es esencial una colaboración efectiva entre sectores gubernamentales, académicos y empresariales para impulsar la investigación e implementación de la tecnología en Uruguay.

Palabras clave

Cultivo bajo sistemas fotovoltaicos · Cambio climático · Desarrollo sostenible · Impacto ambiental.

Abstract

Agrophotovoltaics (APV) is an innovative technology that integrates solar energy generation with agricultural activities, offering solutions to critical challenges such as food security, sustainable energy generation, and climate change mitigation. This article explores how APV aligns with the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs) and presents both global and specific opportunities for Uruguay.

APV has demonstrated its ability to significantly enhance land use efficiency by allowing solar panels to coexist with crops, thereby potentially stabilizing food and energy production simultaneously. Countries such as Germany, India, and Chile have successfully implemented pilot projects showcasing economic, social, and environmental benefits.

Uruguay, with its abundant solar radiation, is well-positioned to embrace APV. The technology presents opportunities to enhance the efficiency of natural resources, bolster food security, and diminish the environmental impact of agriculture and energy generation. The Technological University of Uruguay (UTEC) spearheads research efforts in the country, evaluating the technical efficiency of land, water, and energy utilization, as well as the economic feasibility of such technology within the local context.

Despite its advantages, APV implementation encounters challenges such as initial investment, farmer training, and cultural acceptance. Effective collaboration among governmental, academic, and business sectors is imperative to propel research and

implementation efforts of the technology in Uruguay.

Keywords

Cultivation under photovoltaic systems · Climate change · Sustainable development · Environmental impact.

Introducción

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, respaldada por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), busca impulsar la transformación global hacia un futuro sostenible, abordando los desafíos más urgentes del mundo en este momento. Se centra en mejorar la calidad de vida, preservar el medio ambiente y promover sociedades inclusivas y pacíficas. En su núcleo, se encuentran los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), que incluyen desde la erradicación de la pobreza y el hambre, hasta la igualdad de género, la protección de los ecosistemas y la promoción de energías limpias (Naciones Unidas [ONU], 2018).

En este sentido, es fundamental destacar que la seguridad alimentaria, energética e hídrica se ha convertido en un desafío crítico que enfrenta una creciente población, que conlleva mayor demanda y presión sobre los recursos naturales. Para abordar esta problemática, se requiere adoptar enfoques integrales que combinen la eficiencia en el uso de los recursos, la innovación tecnológica y la promoción de prácticas sostenibles en la producción y consumo (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], 2016).

Es esencial tener en cuenta los efectos del cambio climático, que representan una amenaza cada vez más urgente para la seguridad alimentaria y la disponibilidad de agua. Los ODS deben cumplirse de manera simultánea con la protección y conservación de los recursos naturales, así como hacer frente a los efectos del cambio climático, mediante estrategias de adaptación y mitigación.

En este contexto, la integración sinérgica de generación de electricidad mediante paneles solares fotovoltaicos junto con sistemas agrícolas, conocido como Agro-fotovoltaica (AFV) —concepto que se abordará más adelante—, se presenta como un enfoque interesante para cumplir con los ODS. Este sistema permite maximizar el aprovechamiento de espacios agrícolas y optimizar recursos ambientales, sociales y económicos mediante el aprovechamiento dual de la tierra.

El sistema de producción AFV, se alinea con los ODS, ya que promueve la energía renovable (ODS 7: energía asequible y no contaminante) y la agricultura sostenible (ODS 2: hambre cero) como enfoque para hacer frente al cambio climático y sus efectos, a la vez que fomenta la seguridad alimentaria, la protección del medio ambiente y mejora de prácticas agrícolas, contribuyendo así al desarrollo sostenible en múltiples dimensiones. Según Agostini et al. (2021), estos sistemas pueden contribuir directa y positivamente en 7 (ODS 2, ODS 6, ODS 7, ODS 8, ODS 11, ODS 13 y ODS 17) de los 17 ODS fijados por la ONU, sin generar impactos negativos.

Estos sistemas integrados aprovechan tanto la radiación solar como la superfi-

cie de cultivos, permitiendo la generación simultánea de electricidad y alimentos en el mismo espacio y por eso Agostini et al. (2021) enfatiza que esta tecnología ha despertado mucho interés los últimos años. Asimismo debido a la creciente demanda de energía, la necesidad de utilizar la tierra de manera más eficiente y la urgencia de abordar el cambio climático han impulsado la investigación y la implementación de sistemas AFV en todo el mundo (Weselek et al., 2019).

Este artículo tiene como objetivo explorar las oportunidades que ofrece la Agro-fotovoltaica a nivel global y examinar sus potencialidades en el contexto específico de Uruguay. Se basa en una serie de estudios científicos y revisiones que abordan esta tecnología desde diversas perspectivas, incluyendo aspectos técnicos, económicos, sociales y ambientales.

La Universidad Tecnológica (UTEC) del Uruguay, en el marco del Grupo de Investigación Estratégica (GIE) ha iniciado un proyecto pionero que marca un hito significativo al abrir una nueva línea de investigación en el país. La UTEC está dando sus primeros pasos en el desarrollo del primer proyecto piloto de AFV en Uruguay, demostrando su compromiso con la innovación y la búsqueda de soluciones sustentables para los desafíos energéticos y agrícolas que enfrenta la nación.

Esta iniciativa no solo promete aumentar la eficiencia en el uso de la tierra, agua y energía, sino que también busca contribuir de manera positiva a la mitigación de los efectos del cambio climático. Este proyecto de la UTEC representa un paso significativo hacia un futuro más sos-

tenible y resiliente para las prácticas agrícolas y sistema de generación de energía en Uruguay.

Oportunidades de la Agrofotovoltaica a Nivel Global

La Agrofotovoltaica destaca por su capacidad para aumentar la eficiencia del uso de la tierra al permitir la coexistencia de paneles solares y cultivos en la misma área (Valle et al., 2017; Trommsdorff et al., 2019; Weselek et al., 2019; Trommsdorff et al., 2020;). Esta sinergia ha captado la atención de grupos de investigación y desarrollo tanto en el ámbito científico, agrícola y energético.

La instalación de sistemas AFV brinda a los agricultores la oportunidad de diversificar sus entradas económicas. Trommsdorff et al. (2020), señalan que, al diversificar sus actividades, los agricultores aumentan sus ingresos y mejoran su resiliencia frente al cambio climático, pues no dependen únicamente de la producción de cultivos. Además, la energía generada puede usarse en equipos agrícolas, reduciendo costos operativos y mejorando la eficiencia energética. También se pueden identificar cultivos que se benefician más del sistema, lo que permite a los agricultores explorar nuevas técnicas y ampliar su gama de productos.

El Prof. Adolf Goetzberger, fundador de Fraunhofer ISE, y el Dr. Armin Zastrow fueron los primeros en proponer este tipo de doble uso de la tierra con su artículo de 1981 “*Kartoffeln unter dem Kollektor*”, publicado en la revista “*Sonnenenergie*” (Goetzberger et al., 1981).

En 2014, el grupo de innovación APV-RESOLA (“Agrofotovoltaica: contribución al uso eficiente de los recursos de la tierra”) tomó esta idea y la amplió con investigaciones adicionales. El Ministerio Federal de Educación e Investigación de Alemania financió el proyecto como parte del programa de investigación FONA, que se enfoca en el desarrollo sostenible (Trommsdorff et al., 2020).

Esto dio lugar a un proyecto piloto en la finca de Heggelbach, cerca del lago Constanza, Alemania. El proyecto investigó los aspectos económicos, técnicos, sociales y ambientales de la tecnología AFV en condiciones reales, con el objetivo de demostrar su viabilidad básica (*ibid*).

El proyecto en Heggelbach se encuentra instalado en un terreno cultivable que abarca una superficie de un tercio de hectárea, y está equipado con 720 módulos fotovoltaicos bifaciales. Esto proporciona una capacidad instalada de 194 kilovatios pico (kWp). Los resultados mostraron un significativo aumento en la eficiencia del uso del terreno, entre un 60 y un 86 por ciento, gracias al sistema fotovoltaico. Se observó una mayor adaptación de los cultivos durante los períodos de sequía en los años 2017 y 2018 (*ibid*).

En estudio realizado por Valle et al. (2017) en Francia, muestra los resultados relacionados al aumento de la productividad total de la tierra cuando se combinan los sistemas de producción de alimento y energía aplicando la tasa de utilización de la tierra como indicador. En incremento se ve respaldado por hallazgos de Weselek et al. (2019), quienes indican que la AFV puede aumentar 70% la productividad de la tierra.

Además del uso de la tierra, es importante entender el impacto de los paneles solares sobre la humedad del suelo para el desarrollo de los cultivos. Como parte del Programa Marco de Investigación e Innovación de la Unión Europea para el periodo 2014-2020, Horizonte 2020, Fraunhofer ISE colabora con socios de Argelia en el proyecto WATERMED 4.0 para averiguar cómo influye la AFV en el régimen hídrico. Este estudio aborda la reducción de la evaporación y de las temperaturas del aire y del suelo, además de examinar el uso de módulos fotovoltaicos para recolectar agua de lluvia.

En ese sentido, Trommsdorff et al. (2019) realizaron estudios en la India que muestran que el efecto de la sombra y la reducción de la evaporación de la AFV pueden aumentar hasta un 40% la producción de tomates y algodón, lo que conlleva un aumento de la eficiencia del uso de la tierra.

Trommsdorff et al. (2022) compilaron estudios sobre cambios en microclimas debido a la AFV con respecto a cielo abierto. En algunos estudios se observó mayor humedad de suelo y aire, mientras que la temperatura resultó más equilibrada durante el día. A mayor distancia entre filas de paneles y menor sombra generada, se registra un aumento de radiación en el suelo, generando mayor irradiación en verano respecto al invierno.

A la luz de los estudios anteriores, se puede afirmar que los sistemas AFV contribuyen a la reducción del consumo de agua, tal como lo confirman estudios como los de Ramos-Fuentes et al. (2023), Touil et al. (2021) y Weselek et al. (2019). Esta re-

ducción se logra al disminuir la exposición solar directa de los cultivos (Weselek et al., 2019), lo que potencialmente aumenta la productividad del agua en la agricultura. Ramos-Fuentes et al. (2023) demostraron el potencial de la AFV para reducir las entradas de riego (hasta un 19-47% en comparación con cultivo de maíz sin sombra), mediante la disminución de agotamiento del agua del suelo y la evapotranspiración de referencia.

A pesar de avances en entender la AFV y su impacto en los cultivos, persisten desafíos científicos significativos que requieren atención. La complejidad de las interacciones entre sombra de paneles, radiación solar y otras variables climáticas plantean la necesidad de investigaciones más específicas y dirigidas. La variabilidad de hallazgos, como la humedad del suelo que no siempre supera la de campos abiertos, es muestra de ello. La optimización de sistemas Agrivoltaicos, la eficiencia del uso del agua y adaptabilidad a cultivos exige una investigación más detallada para superar desafíos técnicos y maximizar beneficios de esta tecnología.

Por otro lado, es importante considerar aspectos económicos y políticos asociados con la implementación de la AFV. Schindele et al. (2020) destacan el contexto de la creciente demanda de energía solar y la competencia por el uso de la tierra. Indica que, en respuesta a la misma, varios gobiernos, como los de Japón, Francia, Massachusetts (EE. UU.), Corea del Sur y China, han introducido políticas de apoyo a la implementación de AFV desde 2017. Estos gobiernos están considerando la implementación de AFV, como en India y Ale-

mania, buscando información sobre cómo el costo nivelado de la electricidad (LCOE) de AFV difiere del de los paneles fotovoltaicos convencionales montados en suelo, así como sobre cómo los costos adicionales asociados con la instalación de AFV se relacionan con el beneficio de mantener la actividad agrícola bajo AFV.

Agostini et al. (2021) señalan que, a pesar del interés creciente en los sistemas AFV, la falta de análisis exhaustivos tanto económicos como ambientales, ha limitado su adopción. Su estudio concluye que los costos de estos sistemas son comparables a otros sistemas fotovoltaicos, pero destacan su significativa reducción en el impacto sobre la ocupación del suelo y la mejora continua en la calidad de la producción agrícola.

Con respecto a estudios realizados en América Latina, según Schneider (2018), los primeros tres sitios experimentales están en Chile. A partir de una cooperación de Fraunhofer Chile y el gobierno local, los primeros pilotos fueron ubicados en explotaciones con perfiles muy diferentes. En el primero, los beneficiarios cultivaban brócoli y coliflor con métodos profesionales. El segundo, fue instalado en una propiedad familiar de pequeño porte que cultiva hierbas. El último, se estableció en una región debilitada en infraestructura, suministrando energía a siete familias, incluyendo una incubadora de huevos de gallinas.

En tal sentido, en regiones sin red eléctrica, solo unos pocos módulos solares ya representan una mejora significativa en la calidad de vida, acceso a la información, educación y mejor atención médica (*ibid*).

Por tal motivo, la AFV también tiene

la capacidad de mejorar la resiliencia de las comunidades agrícolas al ofrecer la posibilidad de proporcionar una fuente adicional de ingresos a través de la generación de energía. Esto puede ser especialmente beneficioso en áreas rurales donde las oportunidades económicas muchas veces son limitadas (Ketzer, 2020).

La implementación de la AFV evita el despojo de tierras, impactos sociales negativos, y otros problemas asociados que, según El Mekaoui (2018), pueden suscitarse al ejecutar proyectos de energías renovables. La AFV promueve un desarrollo sostenible (integración entre energía, economía, sociedad, ambiente y gobierno), evitando la apropiación masiva de tierras agrícolas para la ocupación de plantas solares fotovoltaicas a ras de suelo. Por tanto, no sólo se mitigan impactos ambientales y sociales, sino que también tiene el potencial de contribuir económicamente a las comunidades y/o productores, previniendo conflictos socioambientales y fomentando un desarrollo inclusivo.

Si bien hay innumerables ventajas con la implementación de sistemas AFV, al ser un concepto todavía novedoso, en el ámbito mundial, aún es incipiente la existencia de estándares de proyectos, normas técnicas o de gestión y esquemas de regulación de precios para los proyectos AFV, con el fin de asegurar la alta calidad en la implementación de estos, aumentar la aceptación social y promover el uso compartido del suelo, para aumentar la resiliencia del sector agrícola (Cusva, 2022).

Potencialidades de la Agrofotovoltaica en Uruguay

Debido a su ubicación geográfica, Uruguay se caracteriza por una notable incidencia de radiación solar, lo que favorece la implementación de sistemas de generación de energía solar fotovoltaica. Según datos de la Dirección Nacional de Energía de Uruguay, el país cuenta con una radiación solar promedio de alrededor de 5 kWh.m⁻² al día, lo que posibilita la adopción de la AFV.

La AFV, una innovadora tecnología que combina la producción de energía solar fotovoltaica con la agricultura, ofrece un conjunto de oportunidades prometedoras para Uruguay, un país que enfrenta desafíos y oportunidades únicas en su desarrollo agrícola y energético (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, [MGAP], 2017).

La AFV presenta la oportunidad de aumentar la eficiencia del uso de la tierra, con la implementación de sistemas de energía solar sobre campos agrícolas permitiendo aprovechar al máximo el espacio, generando energía limpia mientras se cultiva la tierra. Esta doble utilización de la tierra no solo contribuye a una mayor productividad agrícola, sino que también diversifica las fuentes de ingresos para los agricultores.

Desde una perspectiva ambiental, la AFV contribuye a la reducción de la huella de carbono de la agricultura al ofrecer un proceso de generación de energía limpio. Además, la sombra proporcionada por los paneles solares puede proteger los cultivos de condiciones climáticas extremas,

reduciendo así la necesidad de riego y aumentando la resiliencia ante eventos climáticos adversos.

La investigación y el desarrollo relacionados con la AFV en Uruguay también representan una oportunidad clave, esto incluye investigaciones sobre la eficiencia de los cultivos bajo la sombra de los paneles solares, así como la gestión integrada de la producción agrícola y energética. La colaboración entre científicos, ingenieros y agricultores puede llevar a la optimización de los sistemas Agrofotovoltaicos para las condiciones específicas de Uruguay.

La AFV no solo es una tecnología innovadora sino también una plataforma educativa que puede aumentar la conciencia sobre la energía renovable y la agricultura sostenible, esto puede tener un impacto positivo tanto en las comunidades rurales como en los centros educativos y de investigación.

Aprovechar estas oportunidades requiere un enfoque interdisciplinario, inversión en investigación y desarrollo, y un compromiso continuo con la sostenibilidad. Esta combinación de factores está de acuerdo con las líneas estratégicas de Uruguay para un futuro sostenible y próspero, donde la agricultura y la energía solar trabajen juntas para impulsar el crecimiento y la resiliencia, como se puede verificar en el documento “Políticas públicas para un Uruguay agointeligente” publicado por el MGAP (2017).

Es importante destacar que, hasta la fecha, no se han llevado a cabo estudios específicos sobre la viabilidad de la tecnología de AFV en Uruguay. La ausencia de

antecedentes locales y la incertidumbre respecto a cómo responderán los cultivos a este sistema, dada la variabilidad climática característica del país, plantean desafíos significativos.

Además, la aceptación social del proyecto y su viabilidad económica para los agricultores uruguayos son inciertas. A pesar de estas consideraciones, existe interés potencial por parte del estado y el respaldo de la universidad. Se espera que, los estudios y proyectos a ejecutarse en este campo, se obtenga información valiosa que pueda contribuir a decisiones informadas por parte de los agricultores, promoviendo así la sostenibilidad y la eficiencia en el sector agrícola del país.

En este sentido los investigadores de UTEC se encuentran actualmente inmersos en un proyecto de investigación para abordar de manera integral la eficiencia del uso del suelo, agua, energía y analizar la viabilidad económica en el contexto.

Consideraciones finales

La implementación de la tecnología Agrofotovoltaica se alinea de manera efectiva con los Objetivos de Desarrollo Sostenible promovidos por la ONU. La AFV no solo promueve la generación de energía renovable y la agricultura sostenible, sino que también aborda desafíos críticos como la seguridad alimentaria, la protección del medio ambiente y la mitigación del cambio climático.

Representa una oportunidad única para abordar tanto los desafíos energéticos como los agrícolas. La experiencia internacional, ha demostrado que la AFV puede

mejorar significativamente la eficiencia en el uso de la tierra, mejorar las prácticas agrícolas incluso, bajo ciertos escenarios, aumentar la producción de alimentos, a la vez de generar energía renovable, proteger los cultivos de condiciones climáticas extremas y diversificar los ingresos de los agricultores.

En el caso de Uruguay, un país con abundante radiación solar y un compromiso con las energías renovables, la AFV tiene un gran potencial para contribuir a la diversificación de la matriz energética, mejorar los ingresos de los agricultores y reducir el impacto ambiental de la agricultura y la generación de energía.

La investigación en curso en la UTEC es un paso significativo hacia la comprensión de la eficiencia en el uso del suelo, agua, energía, así como la viabilidad económica.

Sin embargo, para aprovechar plenamente estas oportunidades, es esencial abordar desafíos como la inversión inicial requerida y la capacitación de agricultores en la gestión de sistemas Agrofotovoltaicos. Además, se necesita una coordinación efectiva entre los sectores gubernamentales, académicos y empresariales para impulsar la investigación y la implementación de esta tecnología en Uruguay, que tiene la capacidad de ser uno de los líderes en la implementación de esta tecnología en América Latina, aprovechando sus recursos naturales y su compromiso con la sostenibilidad energética y agrícola.



Objetivos de Desarrollo Sostenible vinculados al artículo



Referencias Bibliográficas

Agostini, A., Colauzzi, M., y Amaducci, S. (2021). Innovative agrivoltaic systems to produce sustainable energy: An economic and environmental assessment. *Applied Energy*, 281(116102). <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116102>

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2016). Ecoinnovación y producción verde: Una revisión sobre las políticas de América Latina y el Caribe (LC/TS.2017/3). Compilados por Rovira, S. Patiño, P. Schaper M. Santiago, Chile, Publicación de Naciones Unidas.

Cusva, García Andrea Carolina (2022). Análisis para determinar la viabilidad y potencialidad de sistemas agrofotovoltaicos en zonas agrícolas de Colombia. Tesis de maestría en Ingeniería Eléctrica, Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica Bogotá, Colombia.

El Mekaoui, A. (2018). El sector energético retos y problemas sociales: caso de los megaproyectos en las comunidades del estado de Yucatán, México. *Ingeniería*, 22(1), 64-75. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46757993007>

Goetzberger, A., y Zastrow, A. (1981). Kartoffeln unter dem Kollektor. *Sonnenenergie*, 3(81),19-22. https://www.dgs.de/fileadmin/newsletter/2019/SE_3-81_Kartoffeln_unter_dem_Kollektor.pdf

Ketzer, D. (2020). Land Use Conflicts between Agriculture and Energy Production. Systems Approaches to Allocate Potentials for Bioenergy and Agrophotovoltaics. Dissertation.

Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (2017).

Uruguay Agointeligente: los desafíos para un desarrollo sostenible. Disponible en <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/2019-12/libro%20completo%20con%20hipervinculos.pdf>

Naciones Unidas (2018). La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe (LC/G.2681-P/Rev.3), Santiago. Acceso en 05/06/2023, disponible en https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/24/S1801141_es.pdf

Ramos-Fuentes, I. A., Elamri, Y., Cheviron, B., Dejean, C., Belaud, G., y Fumey, D. (2023). Effects of shade and deficit irrigation on maize growth and development in fixed and dynamic agrivoltaic systems. *Agricultural Water Management*, 280(108187). <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108187>

Schneider, K. (2018). Agrophotovoltaik goes global: von Chile bis Vietnam. Freiburg.

Schindele, S., Trommsdorff, M., Schlaak, A., Obergfell, T., Bopp, G., Reise, C., ... y Weber, E. (2020). Implementation of agrophotovoltaics: Techno-economic analysis of the price-performance ratio and its policy implications. *Applied Energy*, 265(114737). <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114737>

Trommsdorff, M., Gruber, S., Keinath, T., Hopf, M., Hermann, C., Schönberger, F., ... y Vollprecht, J. (2020). Agrivoltaics: opportunities for agriculture and the energy transition. A guideline for Germany. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE. 1 Edition, October. disponible en <https://solargrazing.org/wp-content/uploads/2021/03/APV-Guideline.pdf>

Trommsdorff, S., Schindele, S., Vorast, M., Durga, N., Patwardhan, S. M., Baltins, K., Söthe-Garnier, A., y Grifi, G. (2019). Feasibility and Economic Viability of Horticulture Photovoltaics in Paras, Maharashtra, India.

Trommsdorff, M., Dhal, I. S., Özdemir, Ö. E., Ketzner, D., Weinberger, N., y Rösch, C. (2022). Agrivoltaics: solar power generation and food production. En Gorjian, S., & Campana, P. E. (Eds.), *Solar energy advancements in agriculture and food production systems* (pp. 159-210). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-89866-9.00012-2>

Touil, S., Richa, A., Fizir, M., y Bingwa, B. (2021). Shading effect of photovoltaic panels on horticulture crops production: a mini review. *Rev Environ Sci Biotechnol* 20, 281–296. <https://doi.org/10.1007/s11157-021-09572-2>

Valle, B., Simonneau, T., Sourd, F., Pechier, P., Hamard, P., Frisson, T., Ryckewaert, M. y Christophe, A. (2017). Increasing the total productivity of a land by combining mobile photovoltaic panels and food crops. *Applied Energy*, 206 (1495–1507). <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.09.113>

Weselek, A., Bauerle, A., Hartung, J., Zikeli, S., Lewandowski, I., y Högy, P. (2021). Agrivoltaic system impacts on microclimate and yield of different crops within an organic crop rotation in a temperate climate. *Agronomy for Sustainable Development*, 41(5). <https://doi.org/10.1007/s13593-021-00714-y>

Weselek, A., Ehmann, A., Zikeli, S., Lewandowski, I., Schindele, S., & Högy, P. (2019). Agrophotovoltaic systems: applications, challenges, and opportunities. *A review. Agronomy for sustainable development*, 39(35) 1-20. <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0581-3>

