



ENERGY PARTNERSHIP
CHILE-ALEMANIA

AgriPV: Uso compartido de suelos para la agricultura y generación de energía solar fotovoltaica

Solución integral para abordar los retos intersectoriales asociados al cambio climático, con énfasis en la seguridad alimentaria, hídrica y el apoyo a la transición energética.
Julio 2024



Impreso

Editor: Energy Partnership Chile- Alemania
Comisionado y publicado por: Deutsche Gesellschaft
für Internationale Zusammenarbeit GIZ
Dirección: Marchant Pereira 150, Providencia,
Santiago de Chile
E-mail y página web: energyclde@giz.de /
www.energypartnership.cl

Autores: Duran, Gabriel / Osses, Mauricio
(Universidad Técnica Federico Santa María); Schmidt,
Michael (GIZ Chile); Schönberger, Frederik
(Fraunhofer Chile Research)

Diseño: Sofía Ceballos Jofré,
basado en: dena 2024. "Internationale
Kommunikation der Energiewende in der bilateralen
Zusammenarbeit. Gestaltungsrichtlinien"

Muchas gracias por la ayuda con la elaboración y la
revisión a: José Barraza Molina (CR2); Bastián C.
Huaiquilaf / Gerson R. Victoriano (Comisión Nacional
de Riego); Frank Dinter (Fraunhofer Chile); Ignacio
Barraza / Pablo Thomas (O'Energy); Daina
Neddemeyer / Franz Konrad / Diego Messina / Ursula
Richter (GIZ); Marcia Montedonico / Rodrigo Palmer
(Universidad de Chile); Ivan Poklepovic / Rodrigo
Ropert (Aninat); Ximena Ubilla Alvarez (Ministerio de
Energía)

Fotografía e ilustraciones:
© Nombrado en el texto.
Portada © BMWK

Socios:



Institución ejecutora:



En colaboración con:



Resumen Ejecutivo

La variabilidad climática afecta la producción agrícola de Chile, especialmente en las regiones donde la disponibilidad de agua es crítica. Para abordar estas vulnerabilidades, es fundamental implementar medidas de adaptación y mitigación ante el cambio climático. En este contexto, los sistemas agrivoltaicos o AgriPV son una innovadora combinación de agricultura y energía solar fotovoltaica que permite abordar los retos intersectoriales asociados al cambio climático en el país.

Esta tecnología consiste en la instalación de paneles solares en superficies utilizadas para la agricultura, lo que promueve la seguridad alimentaria e hídrica, la resiliencia climática y la micro generación eléctrica distribuida. Junto con lo anterior, genera energía cerca de o en los puntos de demanda, y proporciona sombra y protección a los cultivos intensivos y frutales contra la evapotranspiración, el granizo y las heladas.

Este documento destaca la importancia de esta innovadora tecnología y propone recomendaciones de políticas concretas para fomentar su uso en Chile, incluyendo aspectos legales, financieros y colaborativos, como:

- Adecuar el marco regulatorio chileno que permita definir el AgriPV y abordar la interacción entre la producción de alimentos y la generación de energías renovables en el mismo suelo con actividad agrícola, tomando como ejemplo la normativa internacional.
- Considerar el AgriPV en convocatorias de I+D+i y fondos nacionales gestionados por entidades como Ministerio de Agricultura, Ministerio de Energía para acelerar el desarrollo de soluciones AgriPV adaptadas al contexto local.
- Formar una mesa de trabajo con actores multidisciplinarios, incluyendo al SAG, Ministerio del Medio Ambiente, Ministerio de Agricultura, Ministerio de Energía, la Comisión Nacional de Riego y entidades de investigación, para abordar cuestiones normativas y aprovechar los beneficios socioeconómicos de la tecnología AgriPV de manera controlada con una mirada al largo plazo.

Recomendaciones para la regulación e implementación del AgriPV en Chile. (véase capítulo 4)

Eje de acción	Recomendaciones
Marco jurídico	Elaborar una diferenciación formal jurídicamente vinculante entre el AgriPV y la FV convencional basándose en las definiciones internacionales.
	Utilizar la definición técnica de AgriPV en la Resolución de Calificación Ambiental (RCA) para mantener el uso de suelo y así la continuidad de la utilización agrícola.
	Modificar la legislación que regula la interacción entre la producción de alimentos y la generación de energías renovables en el mismo suelo con actividad agrícola.
	Definir un sistema de control o incentivos para asegurar continuidad de actividad agrícola en sistemas AgriPV.
Incentivos financieros	Considerar el AgriPV como una medida de compensación para proyectos por su impacto positivo en la eficiencia hídrica.
	Establecer concursos de innovación de AgriPV que permitan monetizar las sinergias de la tecnología.
Red de actores	Crear una mesa de trabajo AgriPV con la política, industria e investigación basada en la experiencia internacional.
	Considerar el AgriPV en convocatorias de I+D+i
	Intensificar la sensibilización y educación de la tecnología entre sus posibles usuarios.

1. AgriPV: concepto de uso dual de la tierra

Los sistemas AgriPV son diseñados para ser instalados en superficies con producción agrícola sin perjuicio de las tareas que esta conlleva.

El objetivo principal de estos sistemas es aumentar la resiliencia de los productores y sus cultivos ante el cambio climático, disminuir el consumo de agua de riego y usar de manera más eficiente la superficie cultivada al generar energía.

Entre los paneles fotovoltaicos (FV) y los cultivos agrícolas se generan condiciones atmosféricas específicas denominadas “microclima”, por lo que la idea central al

diseñar sistemas AgriPV es que puedan crear un microclima favorable con tal de satisfacer las necesidades de un cultivo en específico (Trommsdorff et al., 2024).

En este sentido, el diseño de un sistema AgriPV debe estar enfocado principalmente en la agricultura, con un rol secundario en la generación de energía.



Figura 1: Instalación de AgriPV con módulos semitransparentes sobre huertos de manzanos, parte del proyecto de investigación “Región Modelo de Baden-Wurtemberg”, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE. (s.f.). En este proyecto se investiga integralmente el potencial de la AgriPV en el sur de Alemania mediante la implementación de una variedad de proyectos piloto.



Figura 2: Sistema AgriPV con módulos monofaciales y altura libre desarrollado en el proyecto FIC-R 2015 CÓDIGO BIP 30449383-0 por Fraunhofer Chile Research. En el proyecto, financiado por el Gobierno Regional Metropolitano de Santiago, se implementaron tres proyectos piloto en colaboración con agricultores del sector de la horticultura en Lampa, Curacaví y El Monte (Fraunhofer Chile Research, 2018).

Siguiendo con el concepto de microclima, el efecto de la sombra de los paneles FV reduce la temperatura debajo de estos, disminuyendo tanto la evaporación del agua presente en el suelo, como la evapotranspiración en los cultivos, lo que permite disminuir el consumo de agua de riego (Trommsdorff et al., 2024). En un país como Chile esto es de suma importancia, en especial en el contexto de una megasequía como la vivida entre los años 2010 y el 2022 en la zona centro del país, y que se espera vuelva a producirse según simulaciones y proyecciones climáticas (Rojas et al., 2018).

En general, se puede observar que los sistemas AgriPV poseen diseños adaptados a los cultivos. En las Figuras 1 y 2 se aprecia un ejemplo de sistema denominado con altura libre de los paneles FV, con tal de generar un microclima específico y proteger a los árboles de granizo y lluvias intensas. Por otro lado, existe el diseño del sistema entre hileras, permitiendo el uso de maquinaria agrícola entre los paneles FV. La Figura 3 presenta un sistema AgriPV vertical, que habilita la producción y cosecha de heno entre las hileras de paneles.



Figura 3: Sistema AgriPV comercial con módulos bifaciales y en disposición vertical de 4,1 MWp de la empresa Next2Sun GmbH en Donaueschingen, Alemania, combinado con la producción de heno (Enkhardt et al., 2020).

1.1 ¿Qué desarrollos se han hecho hasta ahora a nivel internacional y en Chile?

A nivel global, varios países han desarrollado sistemas de investigación y explotación comercial del sistema AgriPV. La capacidad instalada en todo el mundo se estima en 14 GWp en 2021. El mayor sistema AgriPV del planeta se encuentra en China, donde se cultivan bayas bajo paneles solares con una capacidad de 700 MWp en el borde del desierto de Gobi, lo que también ayuda a frenar su avance hacia el país asiático y la consiguiente desertificación. En Asia, Japón y Corea del Sur también han adoptado la AgriPV, aunque en menor escala. Japón cuenta con más de 3.000 sistemas instalados. En Corea del Sur, el gobierno tiene planes de implementar 100.000 sistemas AgriPV en las granjas, en respuesta al éxodo rural. Este plan no solo ofrecerá a los agricultores un ingreso mensual de aproximadamente 1.000 dólares a través de la venta de electricidad, sino que también ayudará a prevenir la desaparición de las granjas (Trommsdorff et al., 2024).

En Europa, uno de los mayores sistemas AgriPV es un proyecto comercial en Alemania que cuenta con paneles verticales de 4,1 MWp del proveedor tecnológico Next2Sun GmbH (Enkhardt et al., 2020). En este sistema se cultiva heno y ensilado, demostrando la madurez tecnológica del enfoque para la aplicación en estos sectores agrícolas. En Francia, la empresa Sun'Agri implementa

sistemas AgriPV sobre vides y frutales a nivel comercial (Sun'Agri, 2024). En tanto, en economías emergentes como India, la instalación de estos sistemas va en aumento, según un estudio del Indo-German Energy Forum (IGEF), que documenta sistemas de hasta 7 MWp (Rahman et al., 2023).

Para una visión del estado actual del desarrollo, la organización SolarPower Europe (2024) dispone de un mapa que documenta de forma interactiva más de 200 plantas en Europa, mientras que el proyecto InSpire (2024), de Estados Unidos, muestra los proyectos que se están desarrollando actualmente en los Estados Unidos.

En Chile (Figura 4), las primeras investigaciones con la tecnología AgriPV se llevaron a cabo por la Universidad de O'Higgins, la Universidad de Chile y Fraunhofer Chile Research, entre los años 2017 y 2020 (Reporte Sostenible, 2019; Zamorano et al., 2021; Fraunhofer Chile Research, s.f.). Actualmente, en 2024, la Universidad Adventista de Chile ha puesto en marcha un piloto en plantaciones de cerezos. En tanto, la Universidad de Chile está desarrollando dos sistemas en las regiones de Coquimbo y del Maule. Por otra parte, la empresa O'Energy puso en marcha el proyecto "Ayla Solar" con una capacidad total de 9 MWp conectados a la red, cerca de la ciudad Rancagua (O'Energy, 2023). Este es el primer proyecto comercial del sistema AgriPV en el país, y subraya el creciente reconocimiento y potencial de esta tecnología en Chile.



Figura 4: Mapa de proyectos implementados y en desarrollo según Giovanni Benedetto, Centro de Energía Universidad de Chile, julio 2024. Inédito.

2. Desafíos para la producción agrícola y generación de energía en un contexto de cambio climático

El cambio climático presenta eventos que generan impactos negativos para la agricultura, la seguridad alimentaria, la generación de energía y la estabilidad de los ecosistemas. La siguiente sección se enfoca en analizar los desafíos sobre el sector agrícola y sector de energía, y los desafíos para la implementación de sistemas AgriPV en Chile.

2.1 Desafíos del sector agrícola

Chile es uno de los países más vulnerables frente al cambio climático y fue categorizado como el primer país de América Latina con alto estrés hídrico (IPCC, 2022). Entre los años 2017 y 2022 se ha presentado un déficit de precipitaciones superior al 20% (Reinaldo et al., 2023), empeorando las consecuencias de la megasequía (Garreaud et al., 2015, 2017). El 2022 fue el decimotercer año consecutivo por debajo del promedio histórico de precipitaciones y como resultado, gran parte de las regiones del centro de Chile están en crisis hídrica.

Este periodo se superpone y acentúa una tendencia hacia un clima más seco observado desde la región de Coquimbo hasta la región de Aysén (Álvarez-Garretón et al., 2023). En un caso pesimista y según proyecciones climáticas, el déficit de precipitaciones de la zona central puede llegar a superar el 30%, es decir, una condición similar a la megasequía, pero en régimen permanente. Este régimen representa una condición promedio y anticipa la ocurrencia de años aún más secos debido a la variabilidad natural del clima en la zona (Álvarez-Garretón et al., 2023). Todo esto se traduce en una menor disponibilidad del recurso hídrico para el futuro.

Ahora bien, las actividades agrícolas y ganaderas representan un 75% de las extracciones consuntivas de agua en Chile, con un uso máximo en el verano (Álvarez-Garretón et al., 2023). Por otro lado, la demanda de agua en la zona centro-norte del país ha ido en aumento, mientras que la disponibilidad hídrica muestra una tendencia negativa en el tiempo (Álvarez-Garretón et al., 2023; Zambrano et al., 2024), esto supone un escenario insostenible a largo plazo.

A nivel de eficiencia del recurso hídrico, en 2021 la productividad económica del agua de la agricultura chilena

fue de 0,52 USD por m³, comparada con una media de 1,01 USD por m³ en América Latina en 2019 (Donoso et al., 2021), lo que subraya la necesidad de mejorar la eficiencia en el uso del agua en el país. Además de la escasez de agua, eventos climáticos como granizo, lluvias torrenciales y olas de calor afectan la producción de alimentos, heladas, mermando rendimientos o incluso, provocando pérdidas totales de los cultivos.

La combinación de estos factores climáticos y económicos demuestra la necesidad de adaptación y mitigación en este rubro. Las empresas agrícolas de mayor tamaño ya están adaptándose, por ejemplo, instalando mallas protectoras o reubicando cultivos hacia regiones más favorables para preservar la productividad a largo plazo (Melo et al., 2021). Sin embargo, cambiar el lugar de producción no es una alternativa para los pequeños agricultores (Saa Isamit et al., 2023), los cuales deben buscar otras estrategias para enfrentar los efectos adversos del cambio climático.

2.2 Desafíos del sector energético en la transición energética

Desde el año 2010, Chile ha logrado avances significativos a través de la expansión de tecnologías de generación de energía renovable. Durante el primer semestre de 2024, las Energías Renovables No Convencionales (ERNC) constituyeron el 40,6% de la generación eléctrica del país (Coordinador Eléctrico Nacional, 2024). A pesar de estos avances, el rápido crecimiento ha excedido con creces la capacidad de las redes de transmisión existentes, lo que ha llevado a que altas tasas de energía renovable no puedan ser inyectadas a la red (vertimiento). En promedio, el vertimiento de energías renovables entre abril del 2023 y abril del 2024 fue de un 13,5% de la generación (ACERA, 2024). Por lo tanto, uno de los desafíos es acercar las zonas de generación a las de consumo, especialmente en la región centro-sur y centro-norte de Chile.

Los grandes sistemas FV (Utility) representan la gran mayoría de la capacidad ERNC instalada en Chile, sin embargo, sigue existiendo potencial de expansión en el segmento del autoconsumo (Net Billing), así como en los Pequeños Medios de Generación Distribuidos (PMGD). Ya existen modelos de negocio en el segmento Net Billing

sobre cómo una energía solar barata y limpia puede ahorrar dinero a los agricultores en su suministro eléctrico, donde dicho potencial se puede materializar a través de la AgriPV en terrenos agrícolas. Para suministrar energía a la red distribuida son clave los sistemas mas PMGD. Unos de los desafíos centrales consisten en ubicarse cerca de la infraestructura eléctrica existente, lo que dificulta la disponibilidad de terrenos adecuados para su desarrollo.

2.3 Desafíos para los sistemas AgriPV

En el contexto de la implementación y comercialización del AgriPV en Chile, se han identificado retos a nivel económico, legislativo, de investigación y social.

Un desafío crucial es el costo elevado de la inversión inicial como resultado de la necesidad de adaptar los sistemas AgriPV a la agricultura, teniendo en cuenta parámetros como la luz requerida por los cultivos, la geometría de estos y la maquinaria agrícola. Estas adaptaciones pueden incrementar los costos de inversión y disminuir la generación eléctrica. A la vez, monetizar los efectos sinérgicos como la conservación de tierras agrícolas y la reducción en el uso de agua y plásticos es complejo, requiere de nuevos modelos de negocio. En Chile aún faltan mecanismos específicos en el mercado que compensen estos costos adicionales con las sinergias generadas.

Por otro lado, no existe una diferenciación legal entre los sistemas FV convencionales y el AgriPV, lo que complica la creación de un marco legal jurídico que facilite su comercialización y brinde seguridad a los inversionistas. En esta línea, la legislación actual sobre uso de suelo limita el desarrollo de proyectos AgriPV a gran escala en áreas agrícolas, al clasificar los terrenos en categorías específicas y exigir compensaciones para instalar paneles solares, incluso compatibles con la agricultura. Esto restringe su uso e impide aprovechar el potencial para la generación de energía limpia. Además, la actividad agrícola en los sistemas AgriPV es un reto normativo adicional, ya que el uso de la tierra para la generación de electricidad podría incentivar a los agricultores a priorizar la energía sobre la agricultura, sin incentivos adecuados para mantener ambas actividades.

El impulsar la comercialización del AgriPV en Chile implica fundamentalmente integrar disciplinas como la agronomía, el rubro FV, las ciencias sociales, económicas y medioambientales. Un enfoque inter y multidisciplinario es clave para diseñar sistemas que satisfagan las necesidades agrícolas locales y aborden desafíos energéticos específicos, considerando aspectos como el impacto del sombreado en los rendimientos agrícolas, la eficiencia hídrica y el impacto al suelo. Dicho esto, aunque el desarrollo global de AgriPV genera resultados

prometedores, su adaptación a nivel local requiere la implementación de proyectos piloto y la validación del concepto en condiciones climáticas específicas junto con diferentes tipos de cultivos. Hasta la fecha, en Chile existe un bajo nivel de investigación en este aspecto, en especial en materia de rendimiento de cultivos.

Finalmente, el desafío social incluye una asimetría de conocimientos y capacidad financiera entre los agentes de los sectores FV y agrícola. Dependiendo del modelo empresarial, los pequeños y medianos agricultores pueden correr el riesgo de suscribir contratos desfavorables por desconocimiento. Además, se pueden generar expectativas desmedidas respecto del valor potencial del terreno, ya que muchos productores no están familiarizados con la solución debido a la ausencia de modelos de negocios. Esta barrera subraya la necesidad de educar sobre la integración de la FV en la agricultura para demostrar los beneficios mutuos y así construir una base sólida de confianza en base de nuevos modelos de negocio entre los diversos actores implicados.

3. AgriPV: oportunidad para la adaptación del sector agrícola en el proceso de transición energética justa

El enfoque AgriPV representa una solución innovadora ante los retos intersectoriales presentados anteriormente. Con esta tecnología se pueden abordar, simultáneamente, desafíos críticos como la seguridad hídrica, la seguridad alimentaria, la resiliencia climática y la microgeneración eléctrica distribuida, donde los beneficios del AgriPV se alinean con los principios de la Ley 21.455, Ley Marco de Cambio Climático. De esta manera, un enfoque AgriPV promueve el desarrollo sostenible del sector agrícola a través de la integración de proyectos FV en el mismo terreno.

3.1 Beneficios agrícolas

Los beneficios agrícolas que ofrece esta tecnología están dados principalmente por la creación de un **microclima** debido a la presencia de paneles solares. Un caso de estudio con tomates en sistemas AgriPV en Estados Unidos muestra que la **sombra que generan los paneles mejora la eficiencia hídrica en los cultivos**, aunque esto también podría reducir el rendimiento de los cultivos que requieran de más luz (Al-agele et al., 2021). Un estudio en Alemania (Trommsdorff et al., 2024) comparó cultivos

situados bajo paneles solares y otros en un campo abierto, señalando que **las variaciones de los rendimientos en sistemas AgriPV dependen en gran medida de las condiciones climáticas**, por ejemplo, las papas variaron de un 20% menos en 2017 a un 11% más en 2018, un año caracterizado por ser seco y caliente, sugiriendo que el **AgriPV podría ser beneficioso en condiciones de sequía, ya que reduce la evaporación y protege contra la radiación solar intensa**. A continuación se presenta la Tabla 1, en la cual se detallan especificaciones y calidad de cosecha para cultivos de la fruticultura.

Por otro lado, en Chile central se realizaron tres proyectos piloto AgriPV de investigación (Fraunhofer Chile Research, 2018), los cuales compararon la eficiencia hídrica entre cultivos bajo el sistema AgriPV y a campo abierto. Los resultados arrojaron que en verano del 2021 **se midió una media del 29% más de humedad del suelo bajo los paneles en comparación con la zona abierta**. El sombreado del sistema AgriPV redujo la irradiación solar y la temperatura del suelo, lo que tiene el potencial de **crear un entorno más controlado para los cultivos y, por tanto, influir positivamente en la productividad de la tierra** (Jung et al., 2024), especialmente considerando que el

Tabla 1: Comparativa de resultados de cantidad y calidad de cosecha para distintos cultivos relacionados a la fruticultura.

cultivo de frutas	ubicación	tipo de estructura	tipo de panel	tasa de sombra (%)	cantidad de cosecha	calidad de cosecha	fuentes
Frambuesa	Francia	Seguimiento horizontal de un eje	Opaco	n/d	Aumento de 24%	Frutas más grandes, cumplimiento con requisitos de azúcar y acidez	Juillion et al., 2024a
Manzana	Francia	Fijo inclinado de doble cara	Opaco	42%	Reducción de 27 - 32%	Se alcanza la norma mínima, pero la concentración de azúcar es inferior	Juillion et al., 2022; Juillion et al., 2024b
Pera	Bélgica	Fijo inclinado	Semitransparente	35%	Reducción de 16%	Calidad similar	Willockx et al., 2024
Uva	Corea del Sur	Fijo inclinado	Opaco	<30%	No impacto significativo	No afectó el contenido de azúcar ni antocianinas, retraso en la coloración de la piel	Ahn et al., 2022
Kiwi	China	Fijo inclinado	Semitransparente	19 - 38%	Reducción notable	Reducción del volumen de la fruta	Jiang et al., 2022
Cranberry	EE.UU	Fijo	Hoja de contrachapado	29,3 - 41,5%	Reducción significativa	Reducción significativa de la firmeza de la fruta y sólidos solubles totales, color de la piel no afectado	Mupambi et al., 2022

AgriPV presenta mayores beneficios en climas semiáridos (Barron-Gafford et al., 2019) comparables a los de la zona centro-norte de Chile. Ante esto último, sumado a los positivos resultados de los pilotos, se puede desprender que Chile posee una gran oportunidad para el desarrollo de esta tecnología, pudiendo proteger a los cultivos de las olas de calor, de la radiación solar directa y el estrés hídrico. En tanto, durante el invierno, los sistemas poseen el potencial para proteger a los cultivos de granizos y heladas. Por lo tanto, **la implementación de sistemas AgriPV puede aumentar la resiliencia climática y la seguridad hídrica de cultivos durante todo el año.**

Para evaluar el alcance de esta tecnología, el centro de investigación Fraunhofer Chile ha estimado preliminarmente que solo los huertos de arándanos tienen un potencial teórico de 13,4 GWp, lo que demuestra capacidad de los sistemas AgriPV de contribuir a la descentralización y descarbonización de la matriz eléctrica nacional. De hecho, si solo se consideran los huertos de arándanos se podría proporcionar energía equivalente al 22% de la generación eléctrica nacional del año 2023, al tiempo que **reduciría la demanda de riego** en casi 18 millones de m³ al año debido al sombreado generado por los paneles (Jung et al., 2024). En cambio, la actual capacidad FV de Chile para abril de 2024 recién superó los 10 GWp (ACERA, 2024).

3.2 Beneficios energéticos y socioeconómicos

3.2.1 Beneficios energéticos

La tecnología AgriPV promueve la creación de nuevos puntos de conexión a la red y la generación eléctrica distribuida, lo que refuerza la generación de electricidad cerca del consumidor junto al aumento de la resiliencia energética en todos los segmentos (Net Billing, PMGD y Utility).

Además, ofrece una respuesta efectiva a los desafíos asociados con las limitaciones de espacio, especialmente en zonas donde el desarrollo de proyectos energéticos convencionales en terrenos agrícolas está restringido. **Al desarrollar sistemas AgriPV en los segmentos PMGD y Utility en terrenos agrícolas cercanos a subestaciones, se pueden reducir significativamente los costos de conexión a la red**, facilitando así la expansión de la infraestructura eléctrica de manera sostenible y eficiente, causando un impacto real en materias de transición energética.

3.2.2 Beneficios socioeconómicos

La implementación de proyectos de ERNC en áreas agrícolas (dependiendo del tipo de proyecto) puede desencadenar conflictos por el uso del suelo y generar impactos sociales, lo que altera la vida comunitaria rural. Por lo tanto, la idea es que los proyectos a implementar en áreas tradicionalmente agrícolas permitan la mantención de estas actividades y ofrezcan **nuevas oportunidades de crecimiento socioeconómico.**

Al abarcar los rubros agrícola y energético en conjunto, el sistema AgriPV potencia la convivencia de ambos mundos y consigue así beneficios sociales. Con esta tecnología se puede **incentivar el trabajo local para la mantención de cultivos y el sistema FV**, por lo que no se pierden empleos y se contribuye a mayores oportunidades de crecimiento social y económico en la zona. Estudios realizados en Alemania y Estados Unidos demuestran que las aplicaciones de estos proyectos pueden tener una percepción positiva y una mayor aceptación que los proyectos FV convencionales (Pascaris et al., 2022; Schrötter et al., 2023).

Tabla 2: Configuración de distintos modelos de negocio AgriPV (adaptado de Trommsdorff, 2024).

Modelo de negocio (punto de vista del agricultor)	Función			
	Proveer terreno	Gestión agrícola	Proveer Sistema FV	Operar Sistema FV
1. Todas las Funciones	Agricultor			
2. Propietario de Terreno Externo	Propietario terreno	Agricultor		
3. Inversión Externa en FV	Agricultor		Inversores FV	Agricultor / Operador FV
4. Sólo Gestión Agrícola y Operación FV	Propietario terreno	Agricultor	Inversores FV	Agricultor
5. Sólo Gestión Agrícola	Propietario terreno	Agricultor	Inversores FV	Operador FV

Por otro lado, los modelos de negocio asociados al AgriPV suelen ser más complejos que los sistemas FV convencionales debido a que se incorporan terrenos agrícolas a la ecuación. A pesar de ello, son factibles y, dependiendo del caso, permiten generar distintos beneficios económicos para el sector agrícola. Con respecto a las partes involucradas, su implementación puede requerir la participación de diferentes actores o áreas de responsabilidad con funciones variadas como ilustra la Tabla 2.

En el modelo de negocio más sencillo (1. Todas las Funciones), las cuatro áreas pueden ser gestionadas por una sola parte, normalmente una empresa agrícola. Este modelo se puede utilizar sobre todo en pequeñas instalaciones bajo el esquema Net Billing con el beneficio principal de disminuir la cuenta eléctrica junto con los efectos sinérgicos para la agricultura. En el caso de que la tierra no sea propiedad de la propia empresa agrícola (2. Propietario de Terreno Externo), la empresa agrícola o el agricultor puede obtener los mismos beneficios que en el Caso Base, pero los contratos de arrendamiento a largo plazo de hasta 25 años son necesarios para asegurar la inversión.

En el caso de los grandes sistemas AgriPV, por ejemplo, en el segmento PMGD, es probable que sea más inusual que la empresa agrícola sea su propietaria y es viable que aumente la probabilidad de inversión externa del sistema FV (3. Inversión Externa en FV, 4. Sólo Gestión Agrícola y Operación FV, 5. Sólo Gestión Agrícola). En el caso en el que el agricultor no opere el sistema AgriPV es clave que se creen diferentes fuentes de ingresos asociadas al uso del espacio. Por un lado, los dueños de los predios encuentran una solución económica al alquilar el terreno a las empresas generadoras, considerando las sinergias agrícolas entregadas. Además, es concebible generar ingresos por la venta de electricidad a través de la copropiedad del sistema, así como una cuota para el control de malezas. En última instancia, se revelan varias oportunidades de diversificar los ingresos de los agricultores mediante el desarrollo de inversiones a escala en los segmentos de PMGD y Utility.

4. Recomendaciones para la regulación del AgriPV en Chile

A la hora de diseñar marcos regulatorios que apoyen el desarrollo del AgriPV en Chile se han identificado tres ejes de acción:

- Marco jurídico
- Incentivos financieros
- Red de actores

Tabla 3: Recomendaciones para la regulación del AgriPV en Chile.

Eje de acción	Recomendaciones
Marco jurídico	Elaborar una diferenciación formal jurídicamente vinculante entre el AgriPV y la FV convencional basándose en las definiciones internacionales.
	Utilizar la definición técnica de AgriPV en la Resolución de Calificación Ambiental (RCA) para mantener el uso de suelo y así la continuidad de la utilización agrícola.
	Modificar la legislación que regula la interacción entre la producción de alimentos y la generación de energías renovables en el mismo suelo con actividad agrícola.
	Definir un sistema de control o incentivos para asegurar continuidad de actividad agrícola en sistemas AgriPV.
Incentivos financieros	Considerar el AgriPV como una medida de compensación para proyectos por su impacto positivo en la eficiencia hídrica.
	Establecer concursos de innovación de AgriPV que permitan monetizar las sinergias de la tecnología.
Red de actores	Crear una mesa de trabajo AgriPV con la política, industria e investigación basada en la experiencia internacional.
	Considerar el AgriPV en convocatorias de I+D+i.
	Intensificar la sensibilización y educación de la tecnología entre sus posibles usuarios.

La descripción de cada recomendación, con la comparativa internacional y su aplicación en Chile se indican a continuación.

4.1 Marco jurídico

4.1.1 Diferenciar el AgriPV de la FV convencional

Comparativa internacional

En el ámbito internacional se observa una variedad de enfoques para establecer un marco legal y con ello un ecosistema habilitador para el AgriPV. Un paso inicial crítico consiste en: 1. definir formalmente al AgriPV, 2. clarificar cómo se distingue de los sistemas FV convencionales y 3. derivar en qué contextos específicos su implementación resulta apropiada. Una **definición inicial es fundamental para considerar el enfoque en los marcos legales pertinentes** relacionados con el uso de suelo, permisos de construcción y legislaciones vinculadas con la generación de

energía. La Tabla 4 resume una selección de normativas y guías de diseño AgriPV.

En 2021, Alemania adoptó la normativa DINSPEC 91434 que estableció un máximo de entre 10% y 15% de reducción de superficie de cultivo. En tanto, Francia definió una guía para los sistemas AgriPV (ADEME, 2021) que fue la base para su adaptación legal bajo el Decreto n° 2024-318 de 2024 que introdujo metas numéricas relacionadas a la cantidad de cosecha y densidad de paneles (Deboutte et al., 2024). En Italia se aplicó un enfoque mixto entre objetivos y requisitos técnicos mínimos (Matalucci, 2023).

Recomendación para Chile

Siguiendo los enfoques internacionales, **se sugiere definir el AgriPV a través de una combinación de parámetros técnicos y objetivos numéricos medibles, adaptados al contexto chileno**. El objetivo principal debe ser la protección de las tierras de cultivo y la promoción de la tecnología en los casos donde el AgriPV pueda ofrecer

Tabla 4: Tabla comparativa de normas y guías de diseño AgriPV (ADEME, 2021; DIN, 2021; Matalucci, 2023).

	Alemania	Francia	Italia
Nombre	DIN SPEC 91434: Sistemas AgriPV: requisitos para el uso agrícola principal	Caracterización de proyectos FV en terrenos agrícolas y AgriPV	Directrices para el diseño, construcción y explotación de sistemas AgriPV
Institución	Instituto Alemán de Normalización	Agencia de Transición Ecológica	Ministerio de Transición Ecológica
Año	2021	2021	2022
Enfoque	Parámetros técnicos específicos como altura de paneles y superficie cultivable mínima.	Categorizar y priorizar proyectos FV en términos de sinergias, mediante criterios de calificación.	Combinación de parámetros objetivos y requisitos mínimos.
Diferenciación sistemas	Clase 1: Agricultura debajo de paneles FV Clase 2: Agricultura entre filas de paneles FV	Diferenciación mediante un gradiente de clasificación según criterios de calificación	Sistemas AgriPV: Continuidad actividad agropecuaria Sistemas AgriPV avanzados: Continuidad actividad agropecuaria con paneles elevados y monitoreo de impacto

sus mayores beneficios agrícolas y socioeconómicos. **Se recomienda definir un máximo de reducción de terreno cultivable acorde a la realidad chilena.** Por ejemplo en Alemania se sugiere una reducción de entre un 10% y 15% en función de su propio contexto. Una definición por objetivos puede garantizar que los sistemas se implementen en áreas gravemente afectadas por la sequía o la desertificación, así como en regiones caracterizadas por pobreza de recursos hídricos y energéticos.

4.1.2 Definir el tipo uso de suelo de AgriPV

Comparativa internacional

Considerando que el sistema AgriPV combina dos tipos diferentes de producción en un solo tipo de suelo, Japón introdujo por directriz una nueva clase de uso del suelo para el uso dual (Doedt et al., 2024). Por su parte, Alemania mantuvo el estatus de uso agrícola según el plan de utilización de suelo (Trommsdorff et al., 2024). En Israel, en tanto, se gestiona el desarrollo geoespacial a través de la definición de zonas. Si una superficie ya se encuentra zonificada para AgriPV, el uso previsto de la tierra no puede cambiarse de agrícola sin penalización (Trommsdorff et al., 2024).

Recomendación para Chile

Para el contexto chileno se propone mantener el uso de suelo agrícola en sistemas AgriPV por la continuidad de la utilización agrícola. El principio rector en este caso es la comparación con la instalación de estructuras de malla sombra fijas, en las que también se mantiene el uso agrícola. Otra oportunidad relevante para regular la implementación de AgriPV se identifica a través del sistema existente, organizado por el Sistema de Evaluación

de Impacto Ambiental (SEIA) gestionado por el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), que evalúa el impacto al recurso suelo de los proyectos. Se propone usar la definición técnica recomendada en su punto 4.1.1, ofreciendo a las autoridades un esquema claro de evaluación para determinar si los proyectos cumplen con el nivel de beneficio y garantizando que el terreno agrícola pueda reutilizarse de forma normal tras la vida útil del sistema. Al conservar la clase el terreno agrícola, también se pueden mantener las mismas directrices fiscales para la producción agrícola.

Este enfoque permitiría una evaluación exhaustiva de cada propuesta de proyecto, asegurando beneficios para la actividad agrícola. **Se sugiere documentar en la Resolución de Calificación Ambiental (RCA) los requisitos mínimos para cada proyecto con tal de asegurar la factibilidad del uso de suelo con fines agrarios.** Además, considerando el impacto en el rendimiento agrícola y la pérdida de tierras productivas, podrían definirse medidas compensatorias adecuadas, que serían mínimas por la continuidad de los cultivos.

4.1.3 Modificar la legislación que regula la interacción entre la producción de alimentos y la generación de energías renovables en el mismo suelo con actividad agrícola

Comparativa internacional

En Alemania se permite la construcción de sistemas AgriPV en tierras agrícolas mediante un privilegio especial si el proyecto comprueba servir directamente a una explotación agrícola o forestal (Trommsdorff et al., 2024). Es notable que en países de gran extensión territorial como Brasil y en algunas regiones de los Estados Unidos, no existen barreras legislativas que impidan la integración de sistemas FV con actividades agrícolas.

Recomendación para Chile

Una oportunidad para implementar el sistema AgriPV en Chile lo otorga el Informe de Factibilidad de Construcción (IFC), que en áreas rurales otorga a propietarios de predios la posibilidad de realizar construcciones ajenas a la agricultura, siempre y cuando se cumplan las condiciones señaladas en la normativa y no se produzcan actividades incompatibles o nocivas para la agricultura de una zona determinada. El informe se fundamenta en el Artículo 55 de la Ley General de Urbanismo y Construcciones, Decreto 458, Ley 458. Los criterios para aplicar esta norma se encuentran contenidos en la Circular 296/2019 del SAG, la que establece criterios técnicos y otros complementarios a considerar: En cuanto a las competencias del SAG, el trámite consiste en que el propietario de un predio agrícola le solicite el IFC, presentando una serie de documentos. El SAG elabora un informe técnico basado en excavaciones y un análisis de las condiciones del entorno predial considerando la vocación agropecuaria del predio. Este informe evaluará suelos de alta prioridad agrícola clasificados en las categorías I, II y III, y eventualmente IV y VI, y forma la base de información para evaluar la autorización del proyecto.

En este contexto, **se recomienda considerar la inclusión del AgriPV como una instalación compatible y beneficiosa con una función directa de servicio para la agricultura**, debido a sus funcionalidades de adaptación al cambio climático y su factibilidad de ser integrada con la producción agrícola. Es fundamental prestar especial atención al concepto de “servicio” en este análisis, lo que supone que será clave asegurar que el sistema AgriPV cumple funciones beneficiosas para la agricultura. Al considerar el AgriPV como una excepción al IFC se pueden crear beneficios relevantes para el desarrollo de este tipo de iniciativas por la disminución de la incertidumbre en el desarrollo de estos proyectos.

4.1.4 Definir un sistema de control o incentivos para asegurar continuidad de actividad agrícola en sistemas AgriPV.

Comparativa internacional

Para garantizar la continuidad de las actividades agrícolas en los sistemas AgriPV, se implementan incentivos financieros y mecanismos de supervisión en el nivel internacional. En Japón, un mecanismo estatal evalúa la actividad agrícola y el impacto de la sombra de los sistemas AgriPV en los rendimientos (Doedt et al., 2024). En Francia, se requiere reportar los resultados agrícolas a una institución de supervisión (ADEME, 2021), mientras que Israel planea crear una unidad para asegurar el cumplimiento de la normativa AgriPV. En Europa, se reformularon las subvenciones agrícolas para que también cubran las tierras de doble uso, promoviendo su viabilidad económica (Chatzipanagi et al., 2023). Además, se identifica como factible solo promover sistemas AgriPV en sectores agrícolas particulares en los cuales haya un potencial alto de sinergia y un valor agregado elevado que haga improbable abandonar las actividades agrícolas. Este enfoque se implementó en Croacia, dónde se apoya la regulación a la implementación de AgriPV en la fruticultura (Agrisolar, 2023).

Recomendación para Chile

En el contexto chileno **se recomienda establecer un sistema de control y medición a través de la Resolución de Calificación Ambiental (RCA)**, a cargo del SAG. El enfoque utilizado en el proyecto “Ayla Solar” de O’Energy (SEIA, 2020), donde se estableció un mecanismo para documentar los rendimientos de las cosechas, podría servir como modelo para esto. Como opción, AgriPV puede recibir incentivos solo para la fruticultura, donde hay un alto nivel de valor agregado y poca probabilidad de que se abandone la producción agrícola. En general, **se propone establecer un límite máximo porcentual en la proporción de terreno que un agricultor individual puede destinar a la implementación de sistemas AgriPV**, garantizando que la producción agrícola permanezca como la principal fuente de ingresos. Se sugiere que estos porcentajes oscilen entre el 10% y el 30%. Además, se propone que las instituciones y los actores clave acuerden y validen conjuntamente los valores sugeridos, asegurando así una base consensuada y robusta para la evaluación.

4.2 Incentivos financieros

4.2.1 Considerar el AgriPV como una medida de compensación para proyectos por su impacto positivo en la eficiencia hídrica.

Comparativa internacional

En Francia, tal como se mencionó anteriormente en la Tabla 4, se realizó un gradiente según criterios de calificación, donde dichos criterios responden a las siguientes preguntas:

- Criterio 1: ¿El proyecto AgriPV brinda un servicio a la operación?, ¿de qué naturaleza?
- Criterio 2: ¿Qué impacto tiene el sistema AgriPV en la producción agrícola (rendimiento cuantitativo y cualitativo)?
- Criterio 3: ¿Cuál es el impacto del sistema AgriPV en los ingresos agrícolas?

Al responder estas preguntas, se categoriza por separado mediante cada criterio al proyecto en cuestión y permite categorizar de manera general los sistemas AgriPV acorde al nivel de sinergia agrícola que presenten, desde los menos hasta los más virtuosos (ADEME, 2021). De esta manera, se puede observar el nivel de sinergia que presenta un proyecto en específico y, por lo tanto, dimensionar el nivel de impacto positivo que tendría para la explotación agrícola.

Por otro lado, esta herramienta es útil para medir los impactos positivos y negativos que presentan los proyectos AgriPV, donde, conforme existan menos impactos ambientales negativos, menor será la compensación ambiental que se deba realizar.

Recomendación para Chile

Para la implementación de sistemas AgriPV se recomienda clasificar los proyectos que entren al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) de manera similar al caso francés, es decir, clasificar los proyectos según las sinergias agrícolas que presenten. El objetivo consiste en que el SEIA sea capaz de contraponer las medidas de compensación asociadas al proyecto con las sinergias agrícolas presentadas por la tecnología. Por ejemplo, si un proyecto AgriPV ocupa el 10% del terreno y dispone de 90% para la producción agrícola, teóricamente se debiese compensar el uso del 10% de terreno de la construcción FV (asumiendo que se mantiene el uso de suelo agrícola). No obstante, a lo largo del texto se exponen los beneficios que la tecnología puede presentar y que mediante una clasificación como la de Francia, se puede discernir si las sinergias entregadas por un proyecto AgriPV son altas, medias, bajas o nulas (o con mayores precisiones). Con esto en mente, un sistema AgriPV podría compensar

por sí solo los impactos ambientales que genere mediante las sinergias que presenta para la agricultura, adaptando el cultivo al cambio climático, mejorando la producción agrícola, reduciendo el consumo de agua y mejorando los ingresos agrícolas, entre otros.

4.2.2 Establecer concursos de innovación de AgriPV que permitan monetizar las sinergias de la tecnología.

Comparativa internacional

Para compensar costos adicionales del AgriPV se introdujeron distintas medidas en varios países. Desde 2017 hay licitaciones separadas para el AgriPV en Francia, donde el objetivo es alcanzar 15 MWp de capacidad instalada al año. Las adjudicaciones se basan, por una parte, en el precio ofrecido y, por otra, en el potencial sinérgico para la agricultura. El tamaño máximo de un proyecto es de 3 MWp de capacidad instalada y los proyectos que reciben subvenciones tienen garantizada una tarifa regulada durante 20 años. Desde 2018, en Massachusetts, Estados Unidos, el Estado concede subvenciones para los sistemas que se construyen en zonas designadas para la agricultura y no superan los 5 MWp. En Alemania, la tecnología se promovió inicialmente a través de concursos de innovación y se incluye en la Ley de Energías Renovables, y se define una prima tecnológica, que se paga como subvención fija sobre la cantidad de electricidad vendida para monetizar las sinergias creadas por la tecnología (Trommsdorff et al., 2024).

Recomendación para Chile

Todavía no existe una promoción específica del AgriPV en los países latinoamericanos, lo que demuestra el potencial de Chile para desempeñar un papel pionero. A partir de esto, **se recomienda diseñar incentivos financieros que reconozcan las sinergias y beneficios a través de mecanismos y concursos presentes en el ecosistema chileno.** La Ley N°18.450 de Fomento al Riego y Drenaje en Chile corresponde a una buena práctica que ofrece una oportunidad para financiar la integración de sistemas AgriPV con la instalación o mejora de sistemas de riego. Esta ley fue actualizada en 2023 y permite el fomento de la inversión privada de obras de riego y drenaje, es administrada por la Comisión Nacional de Riego (CNR), institución que emplea un calendario anual de concursos que permite distribuir los recursos para el cofinanciamiento de obras menores (hasta 20.000 UF), obras medianas intraprediales (desde 20.000 hasta 60.000 UF), obras medianas para organizaciones de regantes (desde 20.000 hasta 100.000 UF) y programas especiales, como son la pequeña agricultura (hasta 1.000 UF) entre otros. Este enfoque de financiación puede cubrir hasta el 95% de la inversión para pequeños agricultores y se otorga por reembolso al

concluir el proyecto, es una prometedora forma de promover la integración de AgriPV con todos sus beneficios. **Además, se sugiere, generar grupos dentro de los concursos de la Ley de Riego dedicados para proyectos AgriPV, o bien, permitir factores que favorezcan las condiciones de parámetros concursales de este tipo de proyectos respecto a fotovoltaicos convencionales:** Por ejemplo, formular factores que valoricen la superficie agrícola ahorrada por estos proyectos, además de cuantificar el ahorro de agua y el equivalente de ambos parámetros en una nueva superficie potencial para riego. Lo anterior, permitirá mejorar las condiciones de postulación a los recursos de la Ley de Riego de este tipo de iniciativas.

Por otro lado, el Ministerio de Hacienda de Chile ha establecido un Green Bond Framework para emitir bonos verdes, sociales y sostenibles, orientados a promover una transición hacia una economía baja en carbono y resiliente al clima. Dentro del presupuesto del gobierno central, los gastos elegibles incluyen exenciones fiscales y subsidios. Se ofrece financiamiento a entidades que apoyan estrategias ambientales, sociales y climáticas del país, incluyendo inversiones en infraestructura e innovación. Se ha diseñado un proceso de decisión para determinar la elegibilidad de proyectos dentro del “Marco de Bonos Sostenibles”, que considera objetivos específicos y criterios de elegibilidad y exclusión. En este contexto, **se recomienda evaluar la tecnología AgriPV para financiar proyectos modelo, dado que combina beneficios energéticos, ambientales y sociales, ofreciendo una solución integral para áreas rurales.**

4.3 Red de actores

4.3.1 Mesa de trabajo AgriPV

Recomendación para Chile

Para abordar las cuestiones legislativas y utilizar así los beneficios socioeconómicos de la tecnología AgriPV de forma políticamente controlada, **se recomienda la formación de una mesa de trabajo con actores multidisciplinarios**, incluyendo al SAG, el Ministerio del Medio Ambiente, el Ministerio de Agricultura, el Ministerio de Energía, la Comisión Nacional de Riego, empresas de los rubros, y entidades de la academia. Alineado a la experiencia internacional, se subraya la importancia de la implicación de las instituciones del sector agrícola para desarrollar el AgriPV de cara a los retos presentes en la agricultura chilena.

4.3.2 Considerar el AgriPV en convocatorias de I+D+i

Comparativa internacional

La experiencia internacional muestra que la amplia adopción de AgriPV entre los grupos de interés depende principalmente de los resultados económicos tras su implementación. Esto justifica la inversión pública en I+D+i para empujar el desarrollo de soluciones rentables y funcionales. Es importante señalar que, en cuanto a la inversión, solo hay que financiar los costes adicionales en comparación con la energía FV convencional (véase sección 2.3). Algunas iniciativas demuestran el impacto de tales esfuerzos, como en Alemania con una región modelo para AgriPV (Región Modelo BaWü, 2022), y proyectos trinacionales financiados por la Unión Europea (PV4Plants, s.f.; Simbiosyst, 2023).

Recomendación para Chile

Se propone la creación de fondos de I+D+i gestionados por entidades como COREFO o ANID, en colaboración entre universidades, institutos de investigación y socios industriales. Estos fondos permitirían acelerar el desarrollo de soluciones AgriPV adaptadas al contexto local. En este caso, las licitaciones específicas para tecnologías para el doble uso de la capacidad de suelo, podrían dar un impulso decisivo.

4.3.3 Sensibilización, promoción y difusión

Comparativa internacional

Al establecer proyectos de infraestructura AgriPV es importante evitar conflictos de interés, adoptando medidas de mitigación que involucren a la población local y a las partes interesadas en una etapa temprana. Un ejemplo de ello es el proyecto APV-RESOLA, impulsado por el Instituto Tecnológico Evaluación y Análisis de Sistemas (ITAS) del Karlsruhe Institute of Technology, Alemania. APV-RESOLA tuvo como objetivo reunir una impresión temprana de opiniones dentro de la sociedad para identificar posibles obstáculos y facilitar las condiciones para el establecimiento exitoso de sistemas AgriPV (Moosmuller et al., 2020). Otro ejemplo de participación temprana de partes interesadas en Alemania fue el proyecto de investigación APV Obstbau (Agrivoltaic Orchardring), en el distrito de Ahrweiler en Renania-Palatinado (Gözl & Larisch et al., 2020).

En Francia, se realizaron cerca de 70 entrevistas, principalmente, a agricultores que poseían instalaciones FV en terrenos agrícolas. El análisis de las entrevistas permitió identificar los puntos fuertes y débiles de cada sistema, así como las buenas prácticas que permiten optimizar las ventajas y limitar los impactos negativos (ADEME, 2021).

Recomendación para Chile

Para maximizar la materialización de sistemas AgriPV, es esencial **intensificar la sensibilización y educación, tanto de agricultores como de consultores de riego, así como de desarrolladores de proyectos ERNC**. Esto se aplica a través de ferias, exposiciones y la colaboración con organizaciones, como el Instituto de Investigaciones Agropecuarias y la Fundación para la Innovación Agraria. Además, se recomienda realizar entrevistas con tal de conocer el contexto social y operacional de los rubros, para así promocionar una política pública de sensibilización y educación de AgriPV entre sus posibles usuarios.

Bibliografía

- ACERA A.G. (2024). ESTADÍSTICAS SECTOR DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA RENOVABLE. <https://www.acera.cl/centro-de-informacion/>
- ADEME, I Care & Consult, Ceresco, & Cétiac. (2021). Caractériser les projets photovoltaïques sur terrains agricoles et l'agrivoltaïsme - Résumé exécutif de l'étude. <https://librairie.ademe.fr/energies-renouvelables-reseaux-et-stockage/4992-caracteriser-les-projets-photovoltaïques-sur-terrains-agricoles-et-l-agrivoltaïsme.html>
- Agrisolar. (2023). Croatia takes a leap for Agrisolar. Power Solar Europe. <https://agrisolareurope.org/article/croatia-takes-a-leap-for-agrisolar/>
- Ahn, S. Y., Lee, D. B., Lee, H. I., Myint, Z. le, Min, S. Y., Kim, B. M., Oh, W., Jung, J. H., & Yun, H. K. (2022). Grapevine Growth and Berry Development under the Agrivoltaic Solar Panels in the Vineyards. *Journal of Bio-Environment Control*, 31(4), 356–365. <https://doi.org/10.12791/ksbec.2022.31.4.356>
- Al-agele, H. A., Proctor, K., Murthy, G., & Higgins, C. (2021). A Case Study of Tomato (*Solanum lycopersicon* var. Legend) Production and Water Productivity in Agrivoltaic Systems. *Sustainability*, 13(5), 2850. <https://doi.org/10.3390/su13052850>
- Alvarez-Garretón, C., Boisier, J.P., Blanco, G., Billi, M., Nicolas-Artero, C., Maillet, A., Aldunce, P., Urrutia-Jalabert, R., Zambrano-Bigiarini, M., Guevara, G., Galleguillos, M., Muñoz, A., Christie, D., Marinao, R., & Garreaud, R. (2023). Seguridad Hídrica en Chile: Caracterización y Perspectivas de Futuro. Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia CR2, (ANID/FONDAP/1522A0001), 72 pp. Disponible en www.cr2.cl/seguridadhidrica
- APV-Obstbau (Orcharding) (s.f) – Agrivoltaics as Resilience Concept for Adaptation to Climate Change in Orchard. Fraunhofer ISE. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE. Recuperado de <https://www.ise.fraunhofer.de/en/research-projects/apv-obstbau-orcharding.html>
- Barron-Gafford, G. A., Pavao-Zuckerman, M., Minor, R. L., Sutter, L., Barnett-Moreno, I., Blackett, D., Thompson, M., Dimond, K., Gerlak, A. K., Nabhan, G. P., & Macknick, J. (2019). Agrivoltaics provide mutual benefits across the food-energy-water nexus in drylands. *Nature Sustainability*, 2(9), 848–855. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0364-5>
- Chatzipanagi, A., Taylor, N., & Jaeger-Waldau, A. (2023). Overview of the potential and challenges for Agri-Photovoltaics in the European Union (p. 57). Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Comisión Nacional de Riego (CNR). (2022). GUÍA PARA PROYECTOS DE PROPIEDAD CONJUNTA EN OBRAS DE RIEGO. Ministerio de Agricultura. Ministerio de Energía. [Guía-de-Propiedad-Conjunta-1-1.pdf \(cnr.gob.cl\)](http://www.cnr.gob.cl/guia-de-propiedad-conjunta-1-1.pdf)
- Coordinador Nacional Eléctrico (CNE). (2024). Balance ERNC. <https://www.coordinador.cl/mercados/documentos/balance-ernc/>
- Deboutte. (2024). France issues new rules for agrivoltaics. *PV Magazine France*. <https://www.pv-magazine.com/2024/04/09/france-issues-new-rules-for-agrivoltaics/>
- Deutsches Institut für Normung (DIN). 2021. DIN SPEC 91434:2021-05 Agri-photovoltaic systems - Requirements for primary agricultural use. <https://dx.doi.org/10.31030/3257526>
- Doedt, C., Tajima, M., & Iida, T. (2024). Agrivoltaics in Japan: A Legal Framework Analysis. *AgriVoltaics Conference Proceedings*, 1. <https://doi.org/10.52825/agripv.v1i.533>
- Donoso, G., (2021) Management of Water Resources in Agriculture in Chile and its Challenges. *Int. J. Agric. Nat. Resour.* 48(3):171-185. 202. DOI 10.7764/ijanr.v48i3.2328
- Enkhardt, S. (2020). Agrivoltaic project with vertically mounted bifacial panels goes online in Germany. *Pv Magazine International*. <https://www.pv-magazine.com/2020/10/08/agrivoltaic-project-with-vertically-mounted-bifacial-panels-goes-online-in-germany/>
- Fraunhofer Chile Research. (s.f.). AgriPV-Opportunities for Agriculture and Energy Transition. https://www.fraunhofer.cl/en/business_areas/photovoltaic-systems/integrated_photovoltaic/agro_pv.html
- Fraunhofer Chile Research. (2018). Sistema Agro PV en Lampa, Región Metropolitana, Chile [Fotografía]. Foto proporcionada por Fraunhofer Chile Research.
- Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE. (s.f.). Fotos de Prensa. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE. Recuperado de <https://www.ise.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/pressefotos.html>
- Frost, J. (2021). Agri-photovoltaic systems - Requirements for primary agricultural use. DIN. <https://www.din.de/de/wdc-beuth:din21:337886742>

Garreaud, R., (2015). Informe a las Naciones. La megasequía 2010–2015: una lección para el futuro. Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2. <https://www.cr2.cl/megasequia/>

Garreaud, R. D., Alvarez-Garreton, C., Barichivich, J., Boisier, J. P., Christie, D., Galleguillos, M., LeQuesne, C., McPhee, J., & Zambrano-Bigiarini, M. (2017). The 2010–2015 megadrought in central Chile: Impacts on regional hydroclimate and vegetation. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(12), 6307–6327. <https://doi.org/10.5194/hess-21-6307-2017>

Gestiona Energía MIPYMES, (s.f.). Modelo ESCO. Recuperado de <https://mipymes.gestionaenergia.cl/modelo-esco>
Gil, P. M., Maldini, F., Godoy, L., Pérez-Donoso, A., Ayala, M., & Zaviezo, T. (2022). Competencia y coexistencia de campos solares y eólicos con campos agrícolas en el contexto chileno. Centro de Políticas Públicas UC. Pontificia Universidad Católica de Chile. Recuperado de <https://politicaspubblicas.uc.cl/publicacion/competencia-y-coexistencia-de-campos-solares-y-eolicos-con-campos-agricolas-en-el-contexto-chileno/>.

Gölz, S & Larisch, F. (2020). APV-Obstbau (Orcharding) – Agrivoltaics as Resilience Concept for Adaptation to Climate Change in Orchardring. Fraunhofer ISE. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE. <https://www.ise.fraunhofer.de/en/research-projects/apv-obstbau-orcharding.html>

InSPIRE. (2024). Mapa de Agrivoltaicos InSPIRE. Recuperado el 30 de junio de 2024, de https://openei.org/wiki/InSPIRE/Agrivoltaics_Map

IPCC. (2022): Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., doi:10.1017/9781009325844.

Jiang, S., Tang, D., Zhao, L., Liang, C., Cui, N., Gong, D., Wang, Y., Feng, Y., Hu, X., & Peng, Y. (2022). Effects of different photovoltaic shading levels on kiwifruit growth, yield and water productivity under “agrivoltaic” system in South-west China. *Agricultural Water Management*, 269. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107675>
Juillion, P., Tranchant, C., Nadi, K., Crevat, C., Valle, B., Chopard, J., Lopez, G., Noel, J., Bunker, X., & Fumey, D. (2024). Effects of Dynamic Agrivoltaics on Potted Raspberry Plants: Results of the first season. Presentation at AgriVoltaics World Conference 2024 in Denver, USA.

Juillion, P., Lopez, G., Fumey, D., Lesniak, V., Génard, M., & Vercambre, G. (2022). Shading apple trees with an agrivoltaic system: Impact on water relations, leaf morphophysiological characteristics and yield determinants. *Scientia Horticulturae*, 306. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111434>

Juillion, P., Lopez, G., Fumey, D., Lesniak, V., Génard, M., & Vercambre, G. (2024). Combining field experiments under an agrivoltaic system and a kinetic fruit model to understand the impact of shading on apple carbohydrate metabolism and quality. *Agroforestry Systems*. <https://doi.org/10.1007/s10457-024-00965-0>

Jung, D., Schönberger, F., & Spera, F. (2023). Effects of Agrivoltaics on the Microclimate in Horticulture: Enhancing Resilience of Agriculture in Semi-Arid Zones. In *AgriVoltaics Conference Proceedings* (Vol. 2).

Massachusetts Department of Energy Resources. (2022). SMART guideline regarding the definition of ASTGU. <https://www.mass.gov/info-details/smart-guideline-regarding-the-definition-of-astgu>

Matalucci, S. (2023). Italian Council of State clarifies rules for agrivoltaics. *PV Magazine Italy*. <https://www.pv-magazine.com/2023/09/05/italian-council-of-state-clarifies-rules-for-agrivoltaics/>

Melo, O., & Foster, W. (2021). Agricultural and Forestry Land and Labor Use under Long-Term Climate Change in Chile. *Atmosphere*, 12(3), 305. <https://doi.org/10.3390/atmos12030305>

Model Region Agri-PV BaWü. (2022). First Implementation Phase of the Model Region Agri-Photovoltaics Baden-Württemberg. Model Region Agri-PV BaWü - Fraunhofer ISE

Moosmueller, J. (2020). KIT - ITAS - Organización - Proyectos - APV-RESOLA – Innovation group Agrophotovoltaic: Contribution to a resource-efficient land use. https://www.itas.kit.edu/english/projects_roes15_apvres.php

Mupambi, G., Sandler, H. A., & Jeranyama, P. (2022). Installation of an agrivoltaic system influences microclimatic conditions and leaf gas exchange in cranberry. *ISHS Acta Horticulturae*, 1337, Article 16. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2022.1337.16>

O’Energy. (2023). Ayla Solar - El Primer Proyecto Agrovoltaico en el Segmento PMGD del país. 0224_2_Brochure Ayla Solar.pdf (oenergy.cl)

Pascaris, A. S., Schelly, C., Rouleau, M., & Pearce, J. M. (2022). Do agrivoltaics improve public support for solar? A survey on perceptions, preferences, and priorities. *Green Technology, Resilience, and Sustainability*, 2(1). <https://doi.org/10.1007/s44173-022-00007-x>

Pilar, M., Maldini, F., Godoy, L., Pérez-Donoso, A., Ayala, M. (2022). Competencia y coexistencia de campos solares y eólicos con campos agrícolas en el contexto chileno. Centro UC Políticas Públicas. Pontificia Universidad Católica de Chile. <https://politicaspUBLICAS.uc.cl/publicacion/competencia-y-coexistencia-de-campos-solares-y-eolicos-con-campos-agricolas-en-el-contexto-chileno/>

PV4Plants, (s.f.). AgriPV system with climate, water and light spectrum control for safe, healthier and improved crops production. PV4Plants

Rahman, A., Sharma, A., Postel, F, Goel, S., Kumar, K. & Laan, T. (2023). Agrivoltaics in India: Challenges and opportunities for scale-up. International Institute for Sustainable Development (IISD). [agrivoltaics-in-india.pdf](https://www.iisd.org/publications/agrivoltaics-in-india.pdf) (iisd.org)

Dirección Meteorológica de Chile. (2023). Reporte anual de la evolución del clima en Chile: Informe climático del año 2022. Dirección General de Aeronáutica Civil.

Reporte Sostenible. (2019). Paneles fotovoltaicos semitransparentes instalados en un invernadero permiten cosechar sus primeros frutos. <https://reportesostenible.cl/paneles-fotovoltaicos-semitransparentes-instalados-en-un-invernadero-permiten-cosechar-sus-primeros-frutos/>

Rojas, M., Gallardo, L., Bozkurt, D., Urquiza, A., Billi, M., Falvey, M., Muñoz, F., Valdebenito, N., Meneses, M., Saavedra, F., Tondreau, N., & Ogaz, M. G., (2018). Simulaciones climáticas regionales: Proyecto “Simulaciones climáticas regionales y marco de evaluación de la vulnerabilidad”. Santiago, Chile: Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2, Universidad de Chile. Retrieved from <https://www.cr2.cl/wp-content/uploads/2019/06/Simulaciones-climaticas-regionales-2018.pdf>.

Saa Isamit, C. (2023). Anteproyecto: Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático Sector Silvoagropecuario [en línea]. Recuperado el 26 de julio de 2024. <https://bibliotecadigital.odepa.gob.cl/handle/20.500.12650/73083>

Schindele, S., Trommsdorff, M., Schlaak, A., Oberfell, T., Bopp, G., Reise, C., Braun, C., Weselek, A., Bauerle, A., Högy, P., Goetzberger, A., & 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>

Schröter, I., Püttshneider, N., & Mergenthaler, M. (2023). Visual Perception and Acceptance Of Agrivoltaic In An Eye-Tracking Experiment In Germany. *Proceedings in Food System Dynamics*, 101-115.

Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. (2020). Ficha del Proyecto: Parque Fotovoltaico Ayla Solar. Ficha del Proyecto: Parque Fotovoltaico Ayla Solar (sea.gob.cl)

SolarPower Europe. (2024). Mapa Digital Agrisolar. Agrisolar Europe. Recuperado el 30 de junio de 2024, de <https://agrisolareurope.org/map/>

Sun'Agri. (2024). Mapa de Proyectos. Recuperado el 30 de junio de 2024, de <https://sunagri.fr/en/project-map/>
Symbiosyst – Create a Symbiosis where PV and agriculture can have a mutually beneficial relationship. (s.f.). <https://www.symbiosyst.eu/>

Trommsdorff, M., Gruber, S., Keinath, T., Hopf, M., Hermann, C., Schönberger, F., Gudat, C., Torres, A., Gajewski, M., Högy, P., Zikeli, S., Ehmann, A., Weselek, A., Bodmer, U., Rösch, C., Ketzner, D., Weinberger, N., Schindele, S., & Volprecht, J., (2024). Agrivoltaics: Opportunities for Agriculture and the Energy Transition. A Guideline for Germany. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE. Retrieved from *Agrivoltaics: Opportunities for Agriculture and the Energy Transition - Fraunhofer ISE*

Willockx, B., Reher, T., Lavaert, C., Herteleer, B., van de Poel, B., & Cappelle, J. (2024). Design and evaluation of an agrivoltaic system for a pear orchard. *Applied Energy*, 353. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.122166>

Zambrano, F., Vrieling, A., Meza, F., Duran-Llacer, I., Fernández, F., Venegas-González, A., ... & Craven, D. (2024). Shifts in water supply and demand drive land cover change across Chile. <https://doi.org/10.31223/X5CD80>

Zamorano, D., Homer, I., Wallberg, B., Alfaro, F., Rivera, N., Talamilla, M. (2021). Experiencia de sistema agrivoltaico en uva de mesa var. Red Globe en parrón español. *Mundoagro*. <https://mundoagro.cl/experiencia-de-sistema-agrivoltaico-en-uva-de-mesa-var-red-globe-en-parron-espanol/>

