

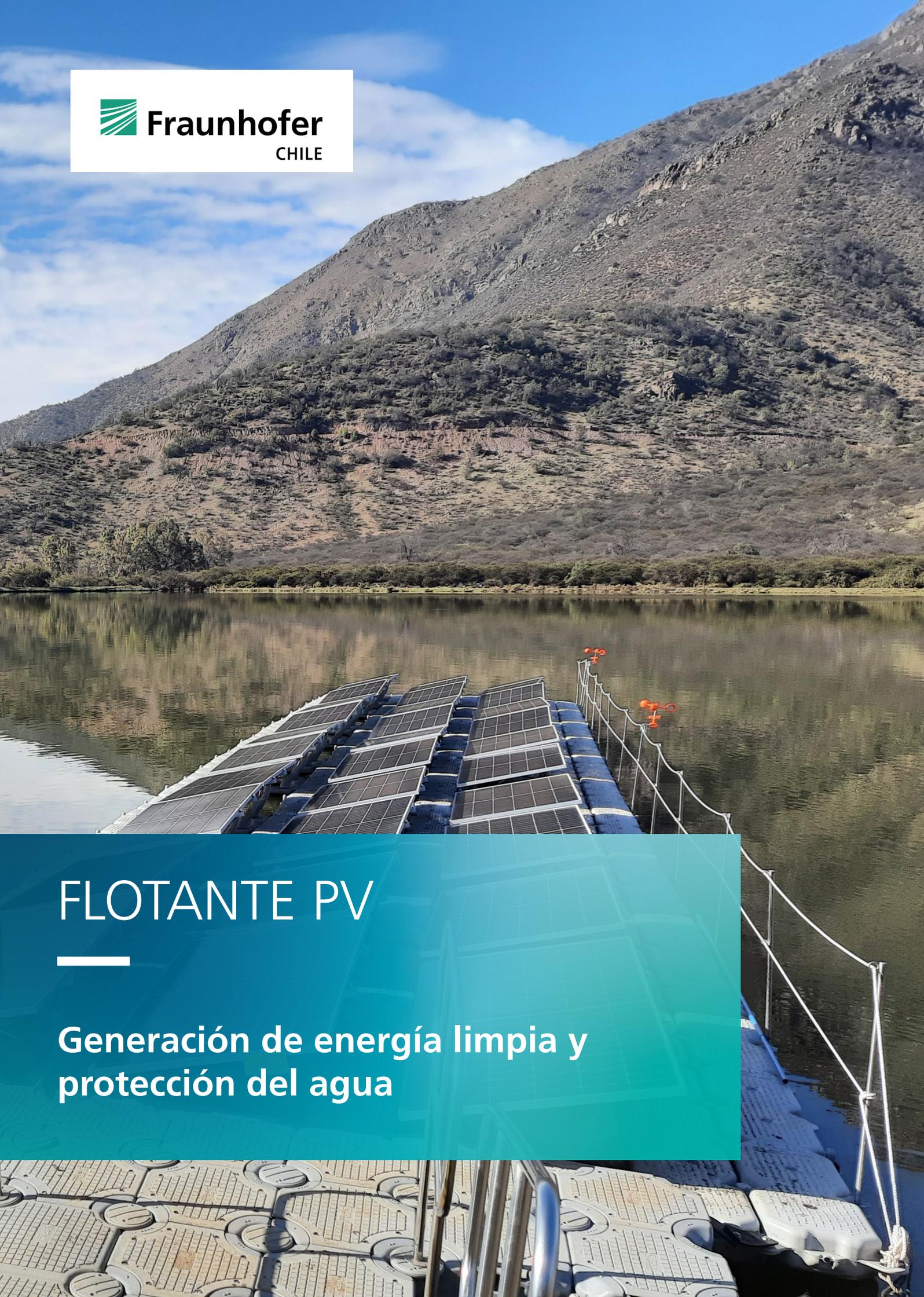


**Fraunhofer**  
CHILE

# FLOTANTE PV

---

**Generación de energía limpia y  
protección del agua**



## Palabras del Gobernador de la Región Metropolitana



En las últimas décadas, Chile se ha visto fuertemente afectado por el cambio climático. Específicamente en la Región Metropolitana de Santiago, esto ya no es un mito ni un problema futuro, es una realidad.

La crisis hídrica, agravada por la sequía, el aumento en el consumo de agua y el calor extremo han impactado y siguen impactando dramáticamente al sector de la pequeña agricultura, la que no cuenta con los recursos suficientes para invertir en tecnología que permita optimizar, por ejemplo, sistemas y procesos de riego para mantener sus cultivos, ni tampoco contar con mecanismos para la generación de energías renovables que les permitan operar de manera sustentable.

En este contexto, una de las principales tareas que hemos llevado a cabo como Gobierno Regional Metropolitano, ha sido abordar la problemática del cambio climático y la crisis hídrica desde diferentes aristas. A través del desarrollo de la ciencia, tecnología e innovación; buscamos contribuir a mitigar los efectos del cambio climático en nuestra región con soluciones sostenibles, como la promoción del uso de energías limpias y renovables, y el uso consciente y eficiente del agua.

En concreto, el proyecto financiado e impulsado por el Gobierno Regional Metropolitano, a través del Fondo de Innovación para la Competitividad, ejecutado por la Fundación Fraunhofer, permite avanzar en dicha dirección por medio de la instalación de paneles fotovoltaicos sobre el agua (flotantes), con el objetivo de generar energía eléctrica para bombear agua utilizada en el riego agrícola, probar un modelo sustentable que permite generar energía, cuidar el agua y también aprovechar al máximo nuestros ricos terrenos agrícolas que día a día se ven disminuidos por el avance inmobiliario.

Justamente, generar energía eléctrica a través de paneles solares sobre el agua, evita conflictos con la instalación de parques fotovoltaicos terrestres en suelo de uso agrícola, a la vez que se protegen 100.000 litros o 100 m<sup>3</sup> de agua de la evaporación cada año, considerando el tamaño del piloto de 100m<sup>2</sup>.

Como Gobierno Regional Metropolitano seguiremos impulsando proyectos que permitan mejorar la calidad de vida de las personas que habitan nuestra región, a través de la protección de los recursos naturales y mitigación de los riesgos medioambientales.

Claudio Orrego Larraín  
Gobernador de la Región Metropolitana de Santiago

# Contenido

<b>1. ¿Por qué Flotante PV?</b> .....	<b>4</b>
El mundo está cambiando: Crisis climática e hídrica en Chile .....	4
Necesitamos cambio: Energías Renovables .....	5
Flotante PV es una tecnología madura con aplicación comercial .....	6
<b>2. Flotante PV: Energía limpia y protección del agua</b> .....	<b>7</b>
La tecnología .....	7
Sinergias en el uso de superficie y la protección de agua .....	8
Desarrollo exponencial en los últimos años .....	9
<b>3. FIC-R: Instalación del piloto Flotante PV en la Región Metropolitana</b> .....	<b>10</b>
Selección del lugar para la instalación del piloto .....	11
Análisis del ámbito legal .....	12
Conceptuación e instalación .....	13
Características e impacto del piloto .....	14
Entrega del piloto a los beneficiarios .....	15
Operación y manejo de aves .....	16
Sensores y monitoreo remoto .....	17
Microclima alterado por Planta Flotante PV .....	18
Flotante PV reduce la evaporación en un 82% .....	19
Seminario online .....	20
<b>4. ¿Cómo realizar un proyecto Flotante PV?</b> .....	<b>21</b>
¿Qué costos tiene un proyecto Flotante PV? .....	21
¿Qué formas de implementación y financiamiento existen? .....	22
<b>5. Una mirada hacia el futuro</b> .....	<b>23</b>
Potencial del Flotante PV en embalses y tranques .....	23
Recomendaciones para aprovechar el potencial del Flotante PV .....	24
<b>6. Fraunhofer Chile apoya a la industria en el desarrollo del Flotante PV</b> .....	<b>25</b>
Nuestro apoyo en el desarrollo de nuevas tecnologías en Chile .....	25

Flotante PV: Concepto innovador para solucionar el acceso a energía eléctrica en zonas rurales, evitando conflictos en uso de suelo agrícola y protegiendo el recurso hídrico.

FIC-R Metropolitano 2019  
Código BIP: 400026953-0

# 1. ¿Por qué Flotante PV?

## El mundo está cambiando: Crisis climática e hídrica en Chile

El mundo está cambiando: desde 1800, la población mundial se ha multiplicado por siete, superando los 8 mil millones de habitantes, lo que ha provocado una demanda sin precedentes de alimentos y energía<sup>1</sup>.

Esta demanda mundial de energía desencadenó la crisis climática. La creciente concentración de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera ha provocado un aumento de la temperatura media mundial de 1°C por encima de los niveles preindustriales. Los científicos prevén que la temperatura global aumentará otros 0,5°C en las próximas dos décadas, con importantes efectos adversos: aumento del nivel del mar y de fenómenos meteorológicos extremos, incremento de la pobreza y de especies extintas<sup>2</sup>.

En Chile, los efectos de la crisis climática ya se están manifestando.

Las precipitaciones a nivel nacional están disminuyendo a razón de un 8% por década durante los últimos 40 años<sup>3</sup>. El período 2011-2021 fue el más seco desde 1961, alcanzando un promedio de 23% de déficit a nivel nacional, con extremos entre la región de Coquimbo y el Maule por efecto de una "mega sequía". En Santiago hubo un 46% menos de precipitaciones entre los años 2011 y 2021 en comparación con el promedio histórico, como demuestra la Ilustración 1<sup>4</sup>.

Esta sequía se manifiesta en un desbalance generalizado, donde las precipitaciones no alcanzan a cubrir la demanda de agua para uso residencial e industrial, así como las necesidades hídricas de la cobertura vegetal. Esta diferencia entre oferta y demanda resulta en una Brecha Hídrica.

En este contexto, el sector agrícola tiene una alta vulnerabilidad, así como también una gran responsabilidad. La sobreexplotación del recurso es un factor relevante en la formación de la Brecha Hídrica, puesto que para producir alimentos se usa un 88% del agua dulce extraída de fuentes superficiales y subterráneas del país<sup>5</sup>.

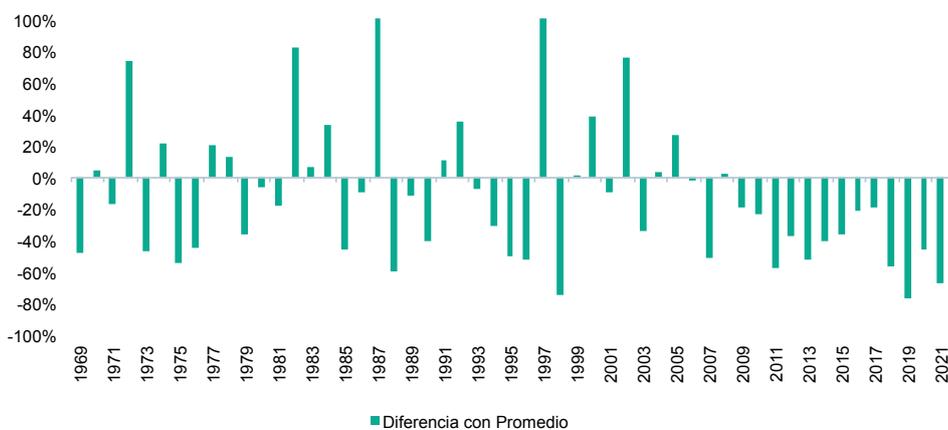


Ilustración 1: Anomalia Porcentual de Precipitación en Quinta Normal, Santiago.



**“Chile será el único país latinoamericano con estrés hídrico extremadamente alto en el año 2040”.**

<sup>1</sup> Steffen et al., "The Trajectory of the Anthropocene: The Great Acceleration."

<sup>2</sup> Hoegh-Guldberg O., Jacob D., Taylor M., Bindi M., Brown S., Camilloni I., "Global Warming of 1.5 °C. An IPCC Special Report."

<sup>3</sup> DGAC, "Reporte Anual De La Evolución Del Clima En Chile."

<sup>4</sup> CR2, "Informe a La Nación. La Megasequía 2010-2015: Una Lección Para El Futuro"; EH2030, Transición Hídrica: El Futuro Del Agua En Chile. Fundación Chile.

<sup>5</sup> Escenarios Hídricos 2030, "Radiografía Del Agua Brecha y Riesgo Hídrico En Chile."

## Necesitamos cambio: Energías Renovables

Siguiendo la tendencia mundial, Chile ha experimentado un crecimiento de población y de su economía en las últimas décadas. Hoy en día, la demanda eléctrica en Chile es cuatro veces mayor que en 1990, mientras que las emisiones de CO2 aumentaron un 300% en el mismo periodo, como demuestra la Ilustración 2.

Para frenar el calentamiento global es importante reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), siendo por ello un reto clave del siglo 21 el desarrollo de la generación de energía limpia. En este contexto, el Gobierno chileno ha anunciado su compromiso de alcanzar la neutralidad de carbono para el año 2050.

En 2021 las energías renovables representaban el 44% de la producción total de electricidad. De esta cifra, el 13% corresponde a la energía solar fotovoltaica (PV), mientras que el 56% restante de la generación, corresponde a combustibles fósiles, principalmente carbón y gas natural.

La generación solar PV en Chile ha experimentado un extraordinario crecimiento en la última década. En 2010 no había prácticamente ninguna instalación PV en el país. Pero gracias a

su recurso solar reconocido a nivel mundial, que permite la realización rentable de proyectos PV, la capacidad total instalada hoy es de 6,3 GWp.

De todos modos, para lograr la neutralidad de carbono, es necesario incrementar la capacidad de energía solar a lo largo del país. El ministro de energía, Diego Pardow, destacó que Chile necesita agregar otros 30 GW de capacidad desde fuentes de energías renovables<sup>6</sup>. El aumento de la capacidad de las energías renovables requiere la incorporación de energía solar PV cerca a los centros de consumo, donde las superficies son escasas. A modo de ejemplo: 1 GWp de capacidad PV ocupa aproximadamente 1.000 hectáreas. Es por eso que han surgido conflictos por uso de suelo, entre la producción de energía solar y la agricultura, especialmente en la zona central y sur del país.

En este contexto, el concepto Flotante PV tiene el potencial de resolver el conflicto de uso de suelo, al instalar paneles PV en superficies de agua; lo que a su vez genera sinergias como la protección del recurso hídrico, al disminuir su evaporación.

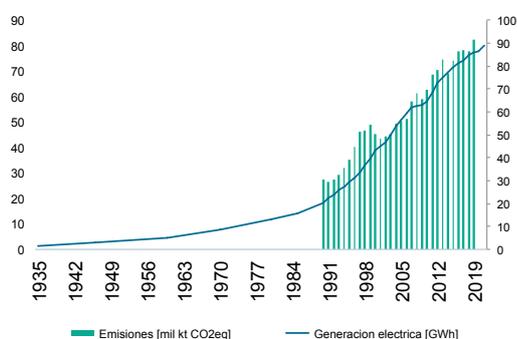


Ilustración 2: Desarrollo de la generación eléctrica y las emisiones GEI en Chile<sup>7</sup>.

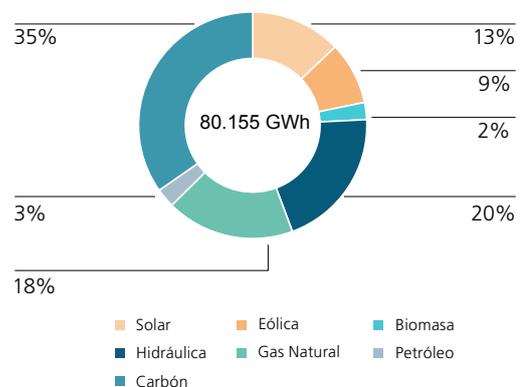


Ilustración 3: Generación eléctrica según fuentes de generación<sup>8</sup>.

<sup>6</sup>Review Energy, "Chile Necesita Agregar Otros 30 GW de Capacidad de Fuentes de Energía Renovable: Diego Pardow."

<sup>7</sup>Banco Mundial, "Emisiones de CO2 (Kt) - Chile"; Generación eléctrica en Chile, "Generadoras de Chile."

<sup>8</sup>Generadoras de Chile, "Generación Eléctrica En Chile."

## Flotante PV es una tecnología madura con aplicación comercial

El objetivo del proyecto Flotante PV es colocar paneles fotovoltaicos (PV, por sus siglas en inglés: *PhotoVoltaic*) directamente en superficies de agua, como embalses y tranques, con la ayuda de flotadores, en lugar de instalarlos en tierra o en edificios.

Una de las mayores ventajas de los sistemas Flotante PV es que permite limitar significativamente la evaporación de agua, y así proteger este recurso escaso en Chile. Además, resuelve el conflicto por el uso del suelo, que es una gran ventaja en regiones con superficie de alto potencial agrícola y/o densamente pobladas.

El potencial de esta tecnología es considerable, y más que solo una solución de nicho. El Banco Mundial señaló que en todo el mundo hay alrededor de 400.000 kilómetros cuadrados de embalses artificiales, lo que sugiere que Flotante PV tiene un potencial enorme. Estimaciones varían entre 4 TWp en un

escenario optimista, y 400 GWp con supuestos conservadores. Como referencia, la capacidad Flotante PV con un escenario optimista superaría la capacidad de energía solar total en el mundo por un factor de cuatro.

En el año 2022 la capacidad mundial instalada de sistemas Flotante PV es de aproximadamente 3 GWp, siendo una tecnología madura con aplicación comercial, con plantas a escala *utility* como las plantas de más de 100 MWp ubicadas en China.

En Chile ya se realizaron algunos proyectos Flotante PV, sin embargo, apenas se está aprovechando su potencial. Es en este contexto, que el proyecto "Flotante PV: Concepto innovador para solucionar el acceso a energía eléctrica en zonas rurales, evitando conflictos en uso de suelo agrícola y protegiendo el recurso hídrico", ejecutado por Fundación Fraunhofer Chile Research, financiado por el FIC-R Metropolitano, busca demostrar la factibilidad del concepto Flotante PV en la Región Metropolitana y sus posibles impactos en la adaptación de la agricultura al cambio climático.



## 2. Flotante PV: Energía limpia y protección del agua

### La tecnología

El término Flotante PV (por sus siglas en inglés: *PhotoVoltaics* y en español PV: fotovoltaico), se refiere a un arreglo de paneles PV que están instalados en flotadores, sobre una superficie de agua para generar electricidad.

Por lo tanto, los sistemas Flotante PV constan de los componentes estándares de un sistema PV -como los paneles PV y los inversores-, de flotadores en los que se fijan los módulos PV, mediante un sistema de anclaje y amarres que absorben fuerzas de viento y corriente, y un cableado especial por el cual se transmite la electricidad generada.

A pesar de que la mayoría de los materiales utilizados en sistemas Flotante PV ya se utilizan ampliamente en otros segmentos de la industria, el rendimiento y la fiabilidad en esta nueva aplicación aún está por demostrarse. A continuación, observaremos en detalle los componentes que caracterizan a un sistema Flotante PV: flotadores, sistemas de anclaje y soluciones de cableado

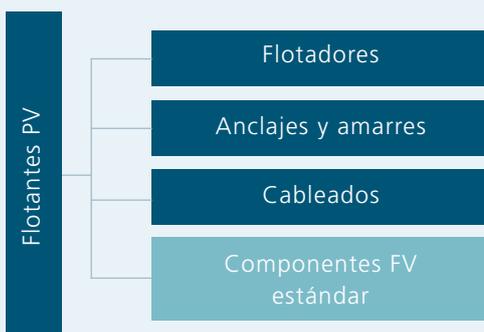


Ilustración 4: Componentes característicos de un sistema Flotante PV.

### Flotadores

Los flotadores deben soportar los módulos PV y los equipos eléctricos en el agua, así como al personal durante la operación y mantenimiento.

Comúnmente, los flotadores están fabricados de manera modular en tamaños manejables y suelen ser hechos de un polietileno de alta densidad (HDPE). Adicionalmente, diferentes aditivos proporcionan resistencia a los rayos UV y otras propiedades físicas. La estructura flotante soporta los módulos PV y debe garantizar una durabilidad a largo plazo frente a la corrosión y la fatiga ya que se encuentra en el agua, lo que constituye una condición especial. Por ende, esta estructura es el componente crucial para las plantas Flotante PV.

Hay varias formas de instalar paneles PV sobre flotadores: hay sistemas que se componen de flotadores primarios en cuales se instalan los paneles y secundarios que se utilizan para crear distancia y caminos entre los paneles. El ángulo de inclinación de los paneles es generalmente fijo, y puede variar entre 5° y 15° dependiendo de las características del sitio en el que está ubicada la planta.

Otra solución son pontones que se forman conectando un conjunto de flotadores con una estructura metálica en la cual se instala un arreglo de paneles PV. Encima de los flotadores se acoplan las estructuras metálicas, similares a las que se encuentran en una instalación convencional.

En el mercado actual, existen muchas otras soluciones técnicas de flotadores, cada una de ellas destinada a reducir el coste inicial y a diseñar la estructura para cumplir requisitos específicos, como el oleaje y los vientos fuertes.



Ilustración 5: Flotador principal para montaje del panel PV y conjunto de flotadores. (Fuente: Ciel et Terre).

## Anclajes y amarres

Todas las instalaciones PV flotantes necesitan un anclaje y/o amarre para soportar el viento, las olas y la corriente - uno de los desafíos principales<sup>9</sup>. La configuración de un amarre FPV depende de los siguientes parámetros ambientales: las condiciones de viento, las características batimétricas, el incremento y decrecimiento de los niveles de agua, las características de olas y corrientes presentes. Además, se deben considerar las características técnicas del sistema Flotante PV: el tamaño y el peso del sistema flotante, la tolerancia al movimiento y a la carga.

El viento generalmente puede poseer fuerza suficiente como para mover una instalación Flotante PV, por lo tanto, es necesario medir las velocidades de viento para cada dirección en el lugar de la posible instalación, para poder calcular la fuerza resultante. Las plataformas FPV pueden anclarse al fondo de la masa de agua o a la orilla de la costa. Los tipos de anclaje más comunes utilizados en el anclaje al fondo son los pesos muertos como los bloques de hormigón, y los anclajes helicoidales que se atornillan y apilan al suelo.

## Cableado

El cableado es utilizado para transferir la energía eléctrica generada desde la estación PV flotante. Las longitudes y los recorridos de los cables deben planificarse y calcularse con cuidado, ya que la holgura debe adaptarse tanto al movimiento de las islas flotantes como a las variaciones del nivel del agua, ya que la tensión de los cables podría provocar su ruptura. Además, los cables deben estar atados con bridas resistentes a los rayos UV o con abrazaderas de acero inoxidable, además de estar protegidos para que el exceso de tensión impida que los cables eléctricos entren en contacto con el agua<sup>10</sup>.

## Sinergias en el uso de superficie y la protección de agua

El Flotante PV es un concepto integrativo y el ambiente especial para la instalación de paneles PV tiene efectos sinérgicos:

El impacto más significativo es la disminución de evaporación en los cuerpos de agua gracias a las plantas Flotante PV: La evaporación de agua es una parte integral del ciclo hidrológico que se produce cuando la luz solar eleva la temperatura de la superficie del agua. La cantidad de agua evaporada en los reservorios es mayor que la utilizada por el consumo humano, superando 1.500 litros por metro cuadrado por año en la Región Metropolitana. Plantas Flotante PV, que cubren la superficie de agua, disminuyen la evaporación principalmente por la reducción de irradiación y viento que llega a la superficie del agua. En estudios con Flotante PV se observaron reducciones de evaporación de agua en valores tan altos como un 80%<sup>11</sup>.

Pero a la vez el agua, con su impacto refrigerante sobre los paneles PV en los meses de verano, permite aumentar la eficiencia de la generación eléctrica. A medida que las celdas PV aumentan su temperatura, cada vez más energía se convierte en calor residual. En estudios se midieron temperaturas operativas de paneles PV, instalados en sistemas flotantes, que resultaron 5 a 10°C menores en días soleados, en comparación con paneles PV instalados en un techo. Sin embargo, el aumento del rendimiento energético que puede lograrse con Flotante PV es limitado.

Así también, la instalación sobre el agua puede facilitar la limpieza de los paneles PV puesto que hay disponibilidad del recurso y el agua no se pierde. El "soiling" en sistemas PV se produce por la acumulación de polvo y partículas de tierra en la superficie de los módulos PV, lo que causa una disminución significativa de la producción de energía PV. En lugares con abundante polvo en suspensión, 100 días de acumulación de suciedad representan aproximadamente un 10% de pérdida para la eficiencia de los paneles PV de una planta.

<sup>9</sup>Ortmann, "An Introduction to the Rise in Floating-PV, the Challenges and the Opportunities It Presents."

<sup>10</sup>World Bank Group, SERIS, and ESMAP.

<sup>11</sup>M. Aminzadeh, P. Lehmann, and D. Or, "Evaporation suppression and energy balance of water reservoirs covered with self-assembling floating elements," no. July, pp. 1-45, 2017.

Debido a que los paneles PV no están instalados en tierra firme, se estima que el ensuciamiento de los paneles de un sistema Flotante PV, a causa del polvo en suspensión en el aire, disminuye. Además, durante la limpieza, el agua cae en la reserva y se recicla rápidamente gracias al propio diseño del concepto Flotante PV, reduciendo las pérdidas del preciado recurso. Se estima que el agua necesaria para la limpieza de un MW de capacidad PV es aproximadamente 75.000 litros. En el caso de una instalación PV terrestre esta agua se "pierde" completamente, mientras que en un sistema Flotante PV, se estima que la pérdida de agua solo es de un 10% de este valor durante la limpieza de los paneles<sup>12</sup>.

Por último, el uso de superficies de agua ayuda a resolver el conflicto de uso de suelo que tiene la energía solar, en las zonas densamente pobladas, y en regiones con superficie de alto potencial agrícola.

La energía solar requiere significativamente más superficie (10 m<sup>2</sup>/MWh) que la energía nuclear (0,1 m<sup>2</sup>/MWh) o que la energía termoeléctrica en base de carbón (0,2 – 5m<sup>2</sup> MWh) para producir la misma cantidad de energía<sup>13</sup>. Consecuentemente, las instalaciones Flotante PV ayudan en aquellas regiones en las que los recursos terrestres son escasos, como en las zonas urbanas, a generar energía PV sin utilizar estas superficies.



Ilustración 6: Ventajas cuantitativas de Flotante PV en Chile.

## Desarrollo exponencial en los últimos años

Aunque el Flotante PV es un concepto innovador, se transformó rápidamente en una tecnología madura y confiable con aplicación comercial a gran escala.

Los primeros proyectos Flotante PV se construyeron en 2007, con pequeñas instalaciones piloto, principalmente con fines de investigación en California, España, Italia y Japón. El tamaño de estos proyectos oscilaba entre 10 y 100 kWp. A pesar de estas primeras instalaciones, el mercado de Flotante PV no empezó a despegar hasta 2015, principalmente gracias a la entrada en el mercado de fabricantes de flotadores y sistemas de anclajes. De ahí, la capacidad de Flotante PV saltó de menos de 100 MWp en 2015 a superar el hito de 1 GWp en 2018, debido principalmente a los grandes proyectos desarrollados en China y otros países asiáticos.

Desde entonces, el interés por la tecnología Flotante PV y el número y el tamaño de los proyectos han crecido a nivel mundial, con una capacidad global instalada estimada en 2022 de más de 3 GWp con más de 2,7 GWp instalados en Asia, sobre todo en China, seguida del continente europeo con más de 250 MWp.

En Chile las primeras instalaciones de sistemas Flotante PV se realizaron durante el año 2018: Después de un proyecto a nivel piloto de 5 kWp ejecutado por Punto Solar en 2019, se instalaron una serie de proyectos de tamaño comercial con generación para autoconsumo en el contexto minero y agrícola. La mayor instalación Flotante PV en Chile tiene una capacidad de 230 kWp, y está instalada en San Felipe, en un estanque de agua para el riego de una viña.

El contexto minero y agrícola tiene gran potencial para instalaciones Flotante PV, debido a que por el cambio climático el agua se ha vuelto un recurso escaso, y las industrias buscan soluciones para mejorar la eficiencia en su uso. Se espera una demanda creciente en los próximos años para proteger el agua y abastecer la demanda de electricidad en la producción. En concordancia, se proyecta un aumento de las instalaciones Flotante PV, a nivel comercial.

<sup>12</sup>A. Mckay, "Floatovoltaics : Quantifying the Benefits of a Hydro -Solar Power Fusion," Pomona Sr. Theses, vol. Paper 74, 2013.

<sup>13</sup>IRENA, "Global Energy and Land Use," 2017.

### 3. FIC-R: Instalación del piloto Flotante PV en la Región Metropolitana

---

El proyecto “Flotante PV: Concepto innovador para solucionar el acceso a energía eléctrica en zonas rurales, evitando conflictos en uso de suelo agrícola y protegiendo el recurso hídrico”, ejecutado por Fundación Fraunhofer Chile Research fue financiado por el Fondo de Innovación para la Competitividad Regional (FIC-R) del Gobierno Regional Metropolitano de Santiago.

El objetivo principal del proyecto era demostrar la factibilidad técnica-económica-legal de un piloto Flotante PV generando conocimientos y confianza en el mundo agro. Por lo tanto, su objetivo fue instalar un piloto Flotante PV en un cuerpo de agua agrícola en la Región Metropolitana, capaz de generar energía eléctrica en zonas rurales, sin conflicto por el uso de suelo agrícola, a la vez que protege el recurso hídrico. Como beneficiarios se seleccionó a una comunidad de pequeños agricultores, que cuentan con agua proveniente de tranques o embalses, y acceso limitado a redes de distribución eléctrica.

El proyecto contó con la colaboración de Punto Solar, empresa dedicada a servicios completos de ingeniería e instalaciones solares; de Andesol, empresa dedicada a la mantención de sistemas fotovoltaicos y de Dos Mundos Consultores (DMC), firma de abogados que apoyó en los aspectos legales.

En lo siguiente se describen las etapas de ejecución y los principales resultados del proyecto.



El Gobierno Regional es el organismo encargado de la administración superior de la región. Su principal labor es la planificación y la confección de proyectos, preocupándose por el desarrollo armónico y equitativo del territorio, impulsando su progreso económico, social y cultural, tomando en cuenta la preservación y mejora del medio ambiente y la participación de la comunidad.



El Fondo de Innovación para la Competitividad Regional (FIC-R) es un fondo que busca potenciar el desarrollo económico de la Región, mediante la ejecución de proyectos de investigación que generan conocimiento aplicable a los sectores productivos, aumentando así las oportunidades de desarrollo y calidad de vida de las personas a través de la innovación.

Mas información:  
<https://www.gobiernosantiago.cl/>

## Selección del lugar para la instalación del piloto

El primer paso en el desarrollo del proyecto Flotante PV fue la selección de un lugar adecuado para su implementación.

Con la “Comunidad de Aguas Canal Hospital” (CACH) de la comuna de Paine, que administra el embalse Hospital, se encontró un contexto óptimo para crear beneficios sociales, comprobando la nueva tecnología Flotante PV.

CACH es una entidad privada, regulada por el Código de Aguas, responsable de la captación, conducción y distribución de las aguas a las que tienen derecho sus titulares. CACH no persigue fines de lucro y cumple una función fundamental en la gestión del recurso hídrico.

El embalse Hospital se construyó en el año 1955, estando ubicado en la Provincia de Maipo, comuna de Paine. Durante el 2016 fue rehabilitado por el Ministerio de Obras Públicas. Las aguas que forman parte de este embalse son captadas desde el Rio Angostura. El embalse Hospital tiene una superficie de 7 hectáreas, profundidad entre 3 y 5 metros, y una capacidad de 200.000m<sup>3</sup>.

El embalse permite a más de 1.600 familias de pequeños agricultores y miembros de la CACH, regar 2.000 ha de terrenos con cultivos como viñas, sandías, árboles frutales y hortalizas.



## Análisis del ámbito legal

Antes de la instalación del piloto Flotante PV se realizó un estudio legal, con la colaboración de abogados de DMC Consultores, y en el cual se consultó a distintos órganos de la administración del Estado para asegurar la correcta implementación en términos legales del piloto Flotante PV.

En el caso de la infraestructura rural y eléctrica a construir en zonas agrícolas, los trámites legales dependen de factores como la capacidad de generación de energía, características de la estructura y elementos del medio ambiente afectados: el artículo 3° del Reglamento del Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) (D.S 40,2013) dispone los proyectos que deberán ingresar al Servicio de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), y los proyectos que se encuentran exceptuados. En términos prácticos, la legislación plantea que el proponente debe acudir a la oficina regional de la Secretaría Regional Ministerial (SEREMI) del Medio Ambiente, para entregar carta de pertinencia, y donde se analizan los antecedentes y emite un pronunciamiento al respecto (ORD 131456/2013, MMA).

En relación con permisos de edificación, en la Dirección de Obras Municipales (DOM), para el proyecto Flotante PV se informó que no requieren del permiso de la DOM, las obras que no contemplen un edificio, tales como: centrales o plantas de generación de energía.

En lo que respecta a la autorización del Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), mediante un Informe Favorable de Construcciones ajenas a la agricultura (IFC), reglado en la "Pauta para aplicar a las solicitudes de Informe de Factibilidad para construcciones ajenas a la agricultura en área rural (SAG,2019)". Cabe mencionar que, dados los criterios técnicos y complementarios expuestos por el SAG, en la circular 296/2019, en lo que se refiere al proyecto de Flotante PV de CACH, se informó que, existen claros antecedentes para la obtención de la exención del sistema Flotante PV de CACH, pues:

- a) En el sistema Flotante PV no existe afectación significativa del recurso suelo.
- b) La infraestructura está configurada para proteger recursos hídricos, que favorecen la resiliencia y adaptabilidad de sistemas de riego para la agricultura.

En cuanto al pronunciamiento requerido por la SEREMI de Vivienda, por tratarse de una construcción ajena a la agricultura central de producción de energía tipo Flotante PV, debe existir un pronunciamiento favorable de la SEREMI de Vivienda y Urbanismo (inciso 3°, artículo 55° LGUC). Teniendo en consideración la ubicación del embalse de la CACH, en la comuna de Paine, Región Metropolitana de Santiago, de acuerdo con los instrumentos de planificación urbana, concluyeron que se trata de un inmueble ubicado fuera del área urbana, pero en cuanto al ordenamiento territorial, se rige por el Plan Regulador Intercomunal de la Región Metropolitana. De acuerdo con el

análisis de las instalaciones proyectadas a construir, así como las autorizaciones de los instrumentos de ordenamiento territorial pertinentes (PRMS, LGUC, OGUC, DDU 148/MINVU,2010) se determinó que la construcción Flotante PV estaba en condiciones de obtener la autorización requerida por la SEREMI de Vivienda y Urbanismo.

En Conclusión: del análisis detallado de la normativa y requerimientos ambientales de nuestro ordenamiento jurídico, incluyendo la normativa que regula el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, la Dirección de Obras Municipales de Paine, el Servicio Agrícola y Ganadero y la Secretaría Regional Ministerial de Vivienda, fue posible concluir que el proyecto de Flotante PV era legalmente viable y podía ser implementado.

En todo caso, para cada proyecto Flotante PV es importante y recomendable realizar un análisis riguroso que considere sus características particulares, como la constante evolución del marco normativo del lugar donde se implementará el proyecto.

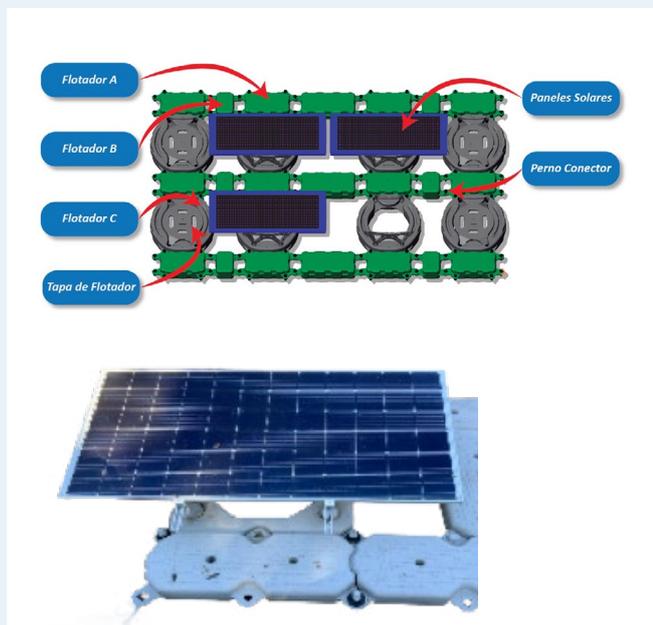


DMC Consultores es una consultora chilena, fundada en 1988. Desde 2012, se ha ocupado preferentemente del tema ERNC en Chile, y ha servido de puente entre empresas alemanas del sector y clientes chilenos. En el proyecto Flotante PV, DMC Consultores realizó un estudio con los aspectos legales y financieros, analizando la factibilidad del proyecto Flotante PV en la Región Metropolitana y Chile.

Más información:  
<https://dmccconsultores.cl/>

## Conceptuación e instalación

El objetivo era desarrollar un piloto representativo y replicable por PyMEs agrícolas. Junto con el proveedor Punto Solar se seleccionó un diseño con flotadores modulares, según el esquema mostrado abajo: los flotadores tipo C permiten instalar un panel PV encima, mientras que los flotadores A y B actúan como conectores y forman los pasillos de acceso. La obra de montaje de los paneles PV y el ensamblaje del conjunto de flotadores se realizó en la tierra, en la orilla del embalse. Una vez que la plataforma flotante con paneles PV estaba completamente montada, se desplazó en el embalse sobre el agua.



**Ilustración 7:** Diseño del piloto Flotante PV.



**Ilustración 8:** Montaje del piloto Flotante PV en la orilla del embalse Hospital.



Punto Solar es una empresa líder en la provisión de soluciones sostenibles de energías renovables. Se especializa en el diseño, desarrollo e instalación de sistemas fotovoltaicos y de respaldo de energía para una amplia gama de clientes, incluyendo agricultura, empresas e industrias. Se distingue por su experiencia técnica y compromiso con la investigación y el desarrollo. Punto Solar colaboró con Fraunhofer Chile en el diseño e instalación de sistemas fotovoltaicos en el piloto Flotante PV.

Más información:  
<https://puntosolar.cl/>

### Características e impacto del piloto

La planta piloto Flotante PV consta de 30 paneles PV mono-cristalinos CSUN tipo CSP18-72H, con una capacidad de 540 Wp, equivalente a una superficie total de módulos de 66 m<sup>2</sup>, con una potencia de 16,2 kWp. Los paneles PV están montados de forma fija, con una inclinación de 15° hacia el norte en flotadores modulares de polietileno de alta densidad (HDPE), y alimentan a dos inversores monofásicos de 7,5 kWp.

El piloto Flotante PV genera hasta 65 kWh/día o 23 MWh de energía por año. Esta energía permite bombear agua y ahorrar aproximadamente 2.500.000 CLP en comparación con el consumo de energía desde la red.

A la vez, el sistema Flotante PV con una superficie de 100 m<sup>2</sup> protege alrededor de 100.000 litros o 100 m<sup>3</sup> de agua de la evaporación cada año.

Como comparación: un ciclo productivo de hortalizas requiere entre 2.000 a 8.000 m<sup>3</sup> de agua por hectárea. Considerando un promedio de 5.000 m<sup>3</sup>/ha, que equivale a 500 litros/m<sup>2</sup>, se puede irrigar una superficie de 200 m<sup>2</sup> en un ciclo productivo de hortalizas solo con el agua protegida de la evaporación.



## Entrega del piloto a los beneficiarios

Los canalistas de Comunidad de Aguas Canal Hospital (CACH), de la comuna de Paine, son los beneficiarios directos del proyecto. En el marco del proyecto se traspasó la infraestructura del piloto a CACH para que usen e inyecten la energía generada bajo la política net-billing, creando un impacto positivo en la cuenta de electricidad de la comunidad. El proyecto abre las puertas a un futuro desarrollo del sector, llevando una nueva tecnología a PyMEs agrícolas, considerando que los proyectos existentes de Flotante PV en Chile se construyeron en empresas agrícolas grandes o en el sector minero.

Así, más de 1.600 familias - pequeños agricultores y miembros de CACH resultaron beneficiados por el proyecto Flotante PV. En representación de los canalistas, el presidente del directorio de CACH, Víctor Catalán, destacó que "con este proyecto nos estamos metiendo en una tecnología nueva de energía limpia.

Ser nosotros parte de eso es un gran orgullo y alegría. El agua para los agricultores es súper importante porque es el motor de nuestra producción como comunidad".

Además, Cristina Pino, secretaria del directorio y coordinadora principal en el proyecto por parte de CACH, destacó que "ella era la primera en levantar su mano cuando se presentó la posibilidad del proyecto, porque se requiere disminuir la contaminación en el mundo agro y que se espera que este piloto es un primer paso hacia un proyecto Flotante PV más grande en el embalse."



## Operación y manejo de aves

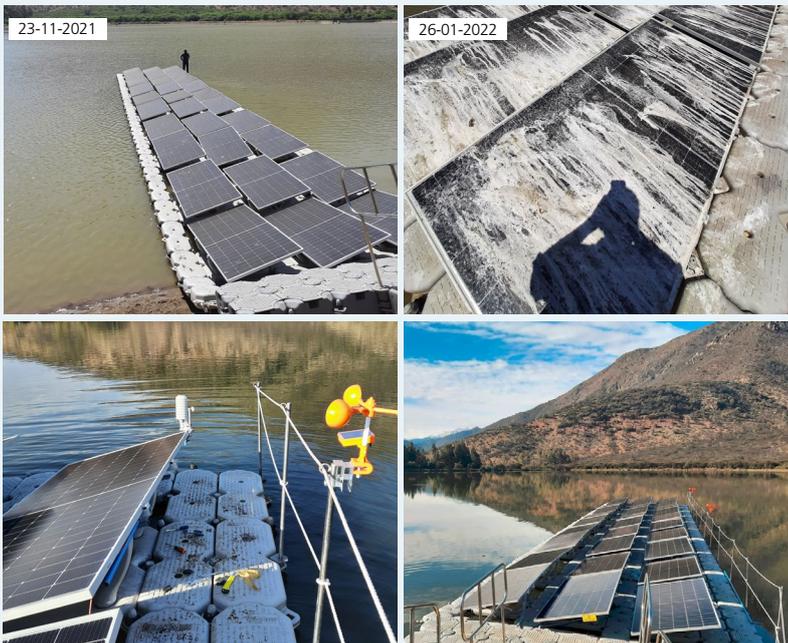
Tras su instalación inicial, el proyecto enfrentó un gran desafío en la operación y mantención del piloto: el ensuciamiento de los paneles PV por la presencia de pájaros.

El ensuciamiento de paneles PV por polvo y excremento de animales, el cual disminuye la eficiencia de generación eléctrica es un riesgo esperado y presente en todos los sistemas PV. Consecuentemente, la limpieza continua de paneles PV es parte de la operación y mantención regular. Sin embargo, en el caso del piloto, se observó un ensuciamiento inusual de los paneles registrándose acumulación de excremento de aves principalmente en los primeros 4 módulos de cada hilera más alejados del borde del tranque. Este nivel de ensuciamiento por aves era extremadamente alto y necesitaba una solución mitigativa, para reducir la necesidad de limpieza permanente del sistema. Por lo tanto, se analizaron diferentes posibilidades para limitar la necesidad de limpieza manual de los paneles PV con los

siguientes resultados:

No había factibilidad económica de una solución robotizada porque el arreglo de paneles PV debe estar diseñado para recibir un robot desde la creación del proyecto, no después. Eran factibles soluciones con aspersores en combinación con bombeo solar, para cada solución se requería un diseño a la medida, lo que resultaba en un costo elevado, que no era justificable en un sistema pequeño. Finalmente se concluyó que es factible y económico una solución mitigativa de un espantador con espejos, movimiento y sonidos para ahuyentar a los patos y garzas.

En base a este análisis se instalaron 2 espantadores con espejos y ruido en el piloto Flotante PV, obteniéndose resultados positivos. De todos modos, sigue siendo necesaria la limpieza de los paneles PV, actividad que es parte de la mantención de cualquier sistema PV.



Andesol es una empresa chilena que empezó operaciones en 2015, con enfoque en servicios de mantenimiento de plantas fotovoltaicas, de instalación de sistemas fotovoltaicos y de respaldo de energía.

En el proyecto Flotante PV, Andesol colaboró con la mantención del piloto, y la implementación de un sistema para el manejo de pájaros.

Más información:  
<https://www.andesol.cl/>

### Sensores y monitoreo remoto

Para entender el impacto que tiene la instalación de paneles PV sobre la evaporación del agua, el piloto fue equipado con sensores destinados a la medición de parámetros microclimáticos.

Estos sensores miden datos de irradiación, velocidad de viento, temperatura, humedad del aire y la temperatura del agua en una zona de referencia sobre el agua abierta y en la superficie del piloto; de este modo permiten cuantificar el impacto que

tiene el piloto en la evaporación del agua y en la refrigeración de los paneles PV. En conjunto con los datos de generación eléctrica se busca calcular la eficiencia de conversión de la energía solar.

En total se instalaron 9 sensores en el piloto fotovoltaico flotante para medir el microclima afectado por el piloto y en condiciones de referencia. La Ilustración 9 muestra la distribución de los sensores instalados.

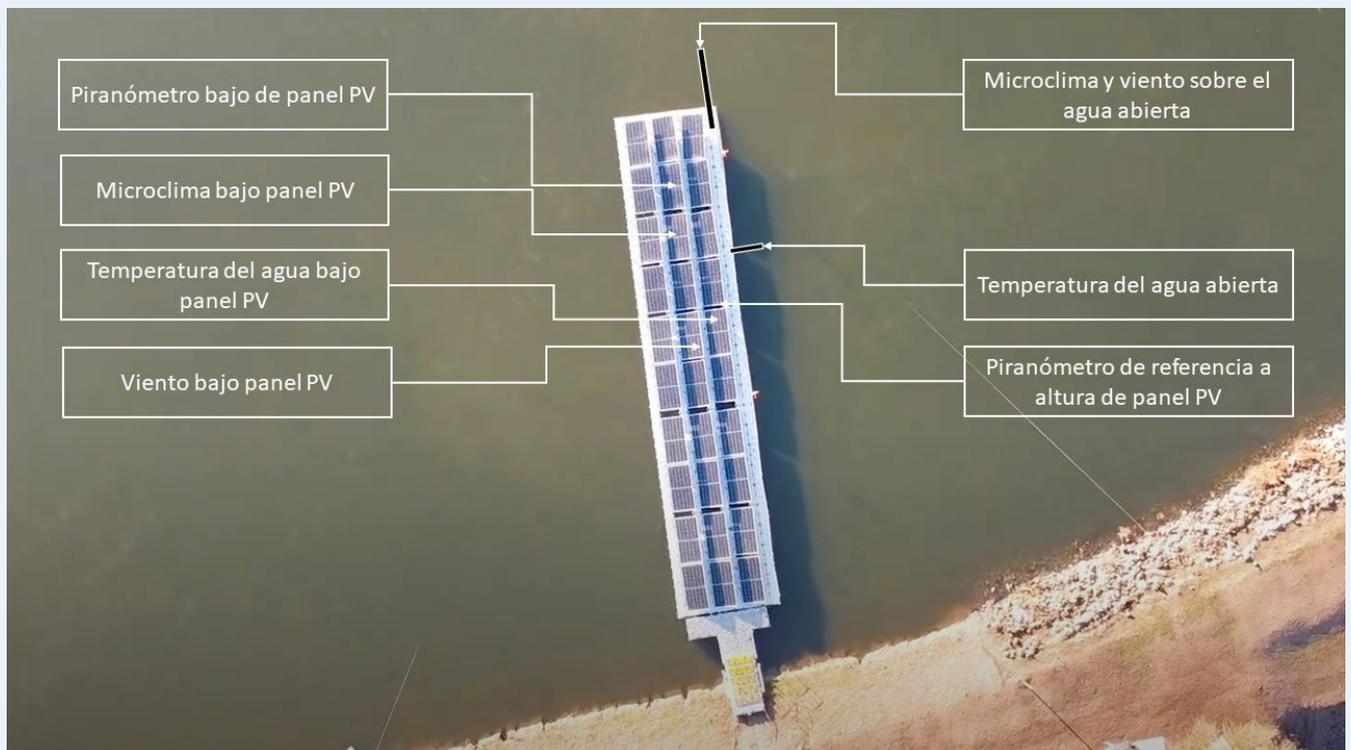


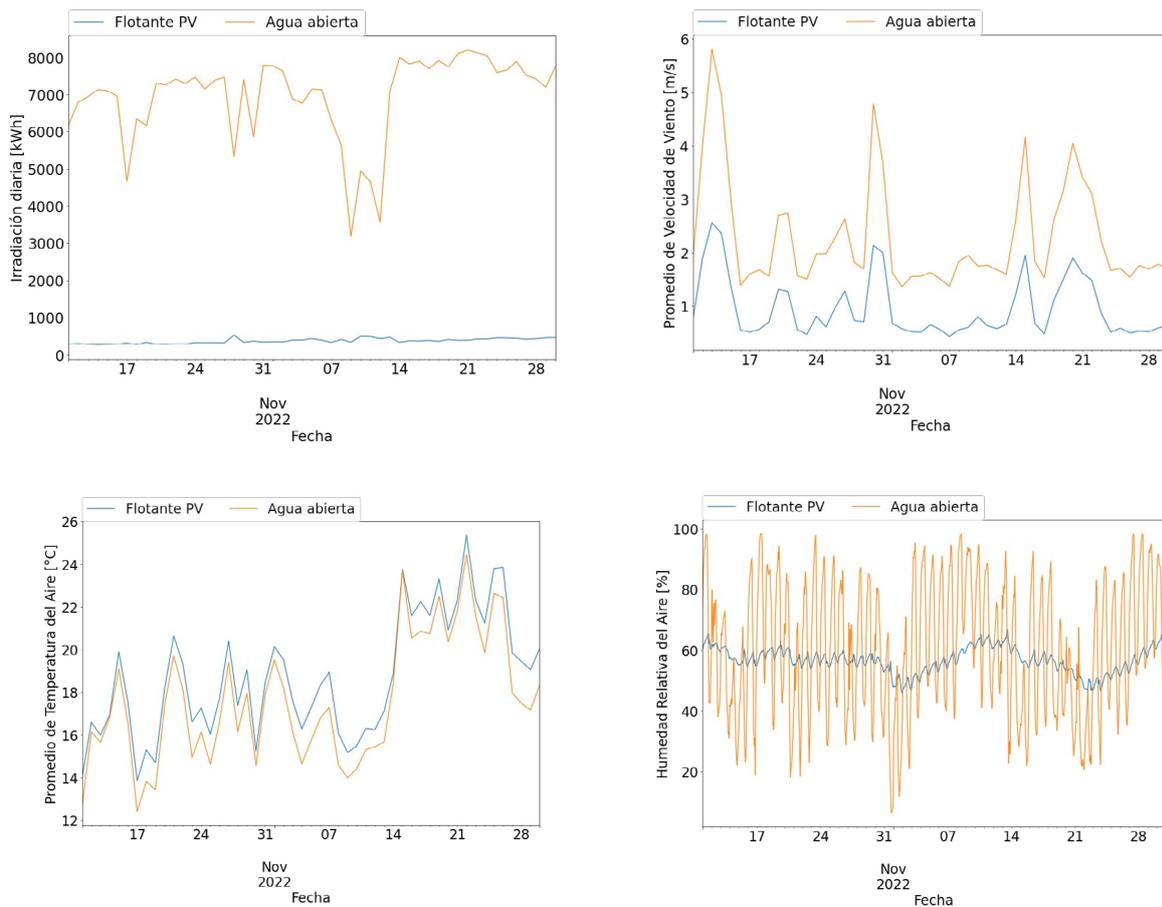
Ilustración 9: Instalación de sensores microclimáticos en el piloto Flotante PV.

### Microclima alterado por Planta Flotante PV

El análisis de datos obtenidos en terreno en el periodo entre el 11-10-2022 y 30-11-2022, que se puede ver en la Ilustración 10, muestra los siguientes resultados:

- El impacto principal de los paneles PV en el embalse es la limitación de irradiación solar que llega al agua: en vez de casi 7 kWh/m<sup>2</sup> de energía que recibe el agua como promedio diario, solo un promedio de 0,37 kWh/m<sup>2</sup> de energía solar llega bajo de los paneles PV. Esta reducción es igual a un 95%.
- Se observa una reducción considerable en la velocidad de viento que es en promedio de 2.3 m/s sobre el agua abierto, mientras que se registró solo un promedio de 0.95 m/s entre las hileras de paneles PV.

- En cuanto a la temperatura del aire, se registraron valores más altos bajo los paneles PV: el promedio de temperatura fue más de 1°C superior (18,7°C bajo de los paneles PV y 17,6°C sobre el agua abierto). Este efecto fue más pronunciado considerando sólo la temperatura máxima diaria: bajo los paneles PV fue en promedio 1,7°C más alta, como muestra la Ilustración 10.
- Con respecto a la humedad relativa del aire, se observó un efecto estabilizador gracias a los paneles PV: mientras que en la zona de referencia, sobre el agua abierta, la humedad relativa tuvo una fluctuación diaria entre 82 y 37%, debajo de los paneles se mantuvo en el rango de 55 a 60%.



**Ilustración 10:** Resultados microclimáticos medidos en el piloto Flotante PV.

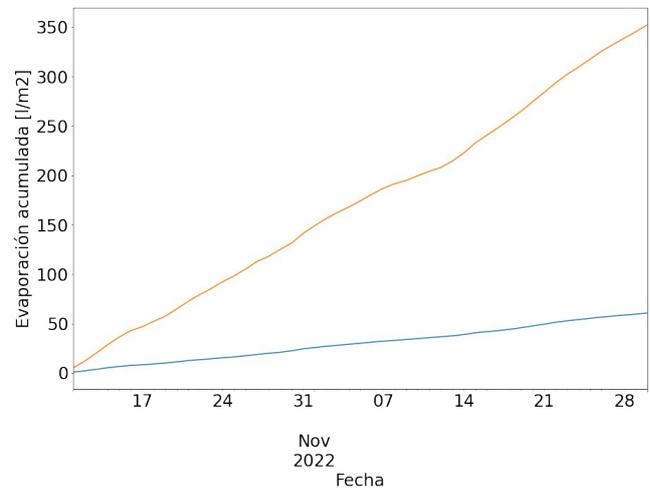
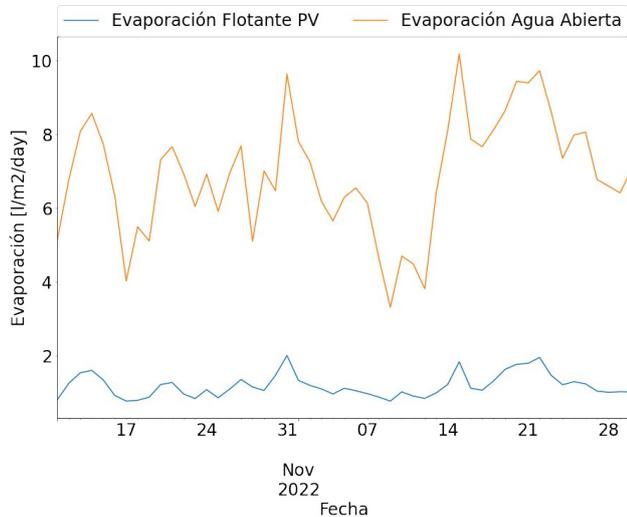
## Flotante PV reduce la evaporación

La evaporación es un proceso físico que consiste en el paso de agua del estado líquido hacia el estado gaseoso. La evaporación ocurre como consecuencia de un aumento de la temperatura: el agua comienza a evaporarse a los 0°C; sólo que lo hace de forma extremadamente lenta. A medida que aumenta la temperatura, la tasa de evaporación también aumenta.

La evaporación del agua de un lago depende en gran parte de la irradiación solar (que calienta el agua), la temperatura del aire y del viento. De estos factores, el balance energético, que contabiliza la radiación entrante y saliente de onda corta y larga, es el factor predominante de la evaporación.

Los parámetros microclimáticos medidos permiten determinar la evaporación sobre el agua abierta y bajo los paneles PV en el periodo de medición entre el 11-10-2022 y el 30-11-2022 (51 días)<sup>14</sup>. La ilustración 11 muestra datos de la evaporación diaria y acumulada. Los resultados principales se resumen en lo siguiente:

- La evaporación sobre el agua abierta es de 352,4 l/m<sup>2</sup> total o 6,9 l/m<sup>2</sup>/día en promedio.
- El total de evaporación en el embalse de 7 hectáreas se acumula a 24.667.000 litros o 24.667 m<sup>3</sup> de agua en el periodo de medición.
- La evaporación debajo de la planta Flotante PV es 60,6 l/m<sup>2</sup> en total o de 1,2 l/m<sup>2</sup>/día en promedio.
- La evaporación debajo de la planta Flotante PV disminuyó en un 82,8% y el piloto de 100m<sup>2</sup> protegió 29.200 l (29,2 m<sup>3</sup>) de la evaporación en el tiempo de medición de 51 días.



**Ilustración 11:** Computación de la evaporación diaria y acumulada en el periodo entre el 11-10-2022 y el 30-11-2022.

<sup>14</sup>Cálculos en base de Penman (1948) con modificación de la fórmula de viento según Penman (1956).

### Seminario online

Como parte de la difusión del proyecto se realizó un seminario online, con la participación de varias empresas y organizaciones, contando con expertos en temas vinculados a la implementación de tecnologías PV flotantes en nuestro país. Este seminario contribuyó a difundir el conocimiento de este inno-

vador concepto, y sus ventajas para la protección del recurso hídrico y para la producción de energía solar. La jornada se llevó a cabo el 21 de abril 2022, estando disponible su grabación online en el canal YouTube de Fraunhofer Chile: <https://youtu.be/sDbkh0ir4qk>.



**Jueves 21 de Abril 2022**  
**09:00 horas**

# WEBINAR FLOATING PV

## EXPERIENCIAS Y DESAFÍOS

**Richard Aylwin**  
**Gerente General WASCO**  
Algoritmo WASCO para medir la evaporación en presencia de paneles flotantes fotovoltaicos

**José Miguel Morán**  
**Gerente General AGRYD**  
Nuevas fronteras de la Energía Solar

**Francisco Aránguiz**  
**DMC Consultores**  
Aspectos normativos y regulatorios para el desarrollo de proyectos FPV

**Bastían Celis Huaiquilaf**  
**CNR - Ministerio de Energía**  
Sistemas Fotovoltaicos Flotantes  
Concursos Ley N° 18.450

**David Jung**  
**Ing. Inv. Fraunhofer Chile**  
Experiencias y desafíos en implementación de Planta Piloto Proyecto Floating PV

**Juan Pablo Oyanedel**  
**Gerente de Innovación Punto Solar**  
Plantas Solares Flotantes

**Organiza:**  


**Financia:**  
  
  


## 4. ¿Cómo realizar un proyecto Flotante PV?

*¿Usted está interesado en la tecnología Flotante PV y tiene una superficie de agua? En los siguientes párrafos damos una orientación en cuanto a los costos y las posibilidades de implementación de un posible proyecto:*

### ¿Qué costos tiene un proyecto Flotante PV?

Los costes del Flotante PV pueden variar mucho entre un proyecto y otro y dependen, entre otros factores, de la potencia instalada, las características de la superficie del agua, la ubicación y los flotadores utilizados. En general, los costos suelen ser más elevados que los de proyectos PV convencionales, instalados en la tierra, lo que se debe principalmente a la adquisición de los flotadores.

Separaremos los costes de proyectos de energía solar en la inversión inicial y gastos operativos a lo largo de la vida del proyecto. Para asegurar comparabilidad, los costos tienen un formato relativo: USD/kWp - que representa el costo por cada kilovatio de capacidad instalada.

Desde 2010, los costos de inversión para un proyecto PV han disminuido casi un 80% a nivel mundial. Hoy en día la inversión necesaria para sistemas PV en la tierra es aproximadamente 800 USD/kWp para proyectos de escala grande y 1.000 USD/kWp para proyectos de autoconsumo.

En comparación, los costos de inversión para proyectos Flotante PV se estiman aproximadamente entre 850 – 1.200 USD/kWp para proyectos grandes, mientras los costos de inversión para proyectos de autoconsumo pueden ser significativamente mayores, típicamente en el rango entre 1.200 – 1.500 USD/kWp.

Un factor principal en los costos que se ha incrementado últimamente es de logística, sobre todo para los flotadores: Para un proyecto de 1 MWp se requieren aproximadamente 30 contenedores sólo para los flotadores. Existen iniciativas para optimizar la logística, como son los flotadores separables, que permiten un transporte más eficiente.

Para dar un ejemplo práctico asumimos el caso de un proyecto para el autoconsumo de energía en un contexto agrícola: Un agricultor quiere instalar un sistema Flotante PV de 100 kWp para cubrir gran parte de su demanda eléctrica. Un proyecto de este tamaño tendrá un costo de aproximadamente 100 kWp\* 1.500 USD/kWp = 150.000 USD.

Se estima que los costes de inversión del Flotante PV se reducirán significativamente a nivel mundial, pudiendo llegar a 650 USD/kWp en 2050. La industria está en desarrollo y hay espacio para mejorar el diseño del sistema con estandarización y normas internacionales. Estos avances también garantizan un funcionamiento seguro y fiable de la tecnología Flotante PV durante la vida útil de los proyectos, reduciendo el riesgo para inversionistas.

El gasto operativo de proyectos PV es principalmente de mantenimiento, ya que no se producen costes variables de combustible para la generación de energía. El mantenimiento incluye la limpieza de los módulos y la administración general de las operaciones. Se estiman gastos operativos entre 10-20 USD/kWp/año.

## ¿Qué formas de implementación y financiamiento existen?

Existen diferentes formas para realizar un proyecto Flotante PV: Se pueden implementar proyectos con o sin conexión a la red de distribución eléctrica, y se puede optar entre una operación por el consumidor mismo o por una empresa externa.

### Autoconsumo Off-Grid

Una implementación Off-Grid representa una planta Flotante PV sin conexión a la red. Este modelo permite aprovechar, consumir o almacenar la electricidad PV *in situ*, sin necesidad de utilizar la red de distribución.

Así, el Flotante PV funciona como un sistema de energía autónomo, para suministrar electricidad a un consumidor individual o a una comunidad pequeña.

Los sistemas Flotantes PV sin conexión a la red ofrecen la posibilidad de electrificar zonas remotas, pero requieren una mayor planificación con respecto a la capacidad instalada en base al consumo de energía.

### Autoconsumo bajo la política Net-Billing

En Chile, los proyectos con una capacidad inferior a 300 kWp, que se utilizan principalmente para el autoconsumo (hogares e industrias), tienen derecho a inyectar la energía excedente en la red de su respectivo distribuidor de electricidad.

La política de **“net billing”** (Ley 20.571 y 21.118) concede un crédito de reembolso por parte del distribuidor por la energía inyectada. El crédito se calcula en el marco de las tarifas para clientes regulados igual al precio de la energía. Hasta marzo de 2022, una capacidad instalada de 110 MWp distribuidos por todo Chile indican la factibilidad y viabilidad del segmento. En el contexto del Flotante PV, el *net billing* es una opción atractiva para agricultores PyMEs que tienen un consumo de electricidad significativo. Pueden aprovechar completamente la generación PV para el autoconsumo y la inyección de energía sobrante en días soleados, mientras que en la noche y los meses del invierno -cuando hay una generación de energía solar limitada-, se abastecen de energía de la red. Así, los agricultores pueden protegerse contra el aumento de los precios de la energía, y a la vez, proteger sus estanques de agua contra la evaporación.

Los proyectos *net billing* suelen ser financiados por el agricultor mismo, o con una empresa ESCo (Energy Service Company).

### Modelo ESCo no requiere inversión inicial por el consumidor

El modelo ESCo no requiere ninguna inversión inicial por parte del cliente y, por lo tanto, representa una oportunidad atractiva para que los agricultores de PyMEs accedan a la generación de energía renovable.

El modelo ESCo consiste en un contrato de venta de energía a largo plazo, entre un cliente regulado (ejemplo: agricultor) y una denominada ESCo que diseña, financia, instala, opera y mantiene un sistema PV sin coste de inversión para el cliente. En general, los contratos tienen una duración de entre 10 y 20 años, en los que el cliente compra la energía generada por el sistema PV a una tarifa inferior a la ofrecida por la compañía local de distribución de energía. Una vez transcurrido el plazo del contrato, el cliente se convierte en propietario del sistema PV.

El consumidor de energía (agricultor) paga un precio fijo por cada kWh que le entrega la ESCo. Por lo tanto, la ESCo tiene un interés propio en instalar la tecnología teniendo en cuenta los altos estándares de calidad y eficiencia. Como la ESCo probablemente desarrolla varios proyectos, los efectos de la economía de escala permiten una realización económicamente eficiente.

### Arriendo de superficies de agua para proyectos grandes

El segmento PMGD (Pequeños Medios de Generación Distribuida) está diseñado para fomentar la generación de energía en el orden de magnitud entre 300 kWp y 9 MWp de capacidad PV. El modelo de negocio del segmento PMGD se centra en la inyección de electricidad en la red de distribución local. La electricidad se remunera sobre la base de precios estabilizados asignados a seis bloques de 4 horas a lo largo del día. El desarrollador PV diseña, financia, instala, opera y mantiene el sistema PV. En este modelo de negocio, no hay intercambio de electricidad con el agricultor, pero existe la posibilidad de generación de ingresos adicionales mediante el arrendamiento de sus superficies de agua anteriormente improductivas, para el desarrollo de proyectos Flotante PV. Este modelo permite a los agricultores y a los dueños de superficies de agua acceder a una nueva fuente de ingresos y proteger sus recursos hídricos.

Dado que las plantas FPV en el segmento de PMGD necesitan superficies relativamente grandes, en la magnitud de 3 a 10 hectáreas para ser implementadas, se pueden considerar los estanques de agua de las cooperativas agrícolas, lo que resulta en efectos monetarios beneficiosos para múltiples agricultores locales.

## 5. Una mirada hacia el futuro

### Potencial del Flotante PV en embalses y tranques

En Chile existen, según datos geográficos de la Biblioteca del Congreso Nacional y de la Dirección General de Aguas, aproximadamente 14.500 km<sup>2</sup> de superficies de agua, de las cuales la gran mayoría tiene carácter natural: lagos y lagunas, ubicadas principalmente en las regiones del sur del país. Alrededor de 350 km<sup>2</sup> o 2,5% del total de las superficies de agua tienen carácter artificial, quiere decir que son masas de agua creadas por el hombre: embalses y tranques que se encuentran principalmente en la zona central de Chile, entre las regiones de Coquimbo y Maule.

Ocupando un área de sólo 10% de estos embalses y tranques, se podría contar con una capacidad instalada por Flotante PV mayor a 5 GWp – como referencia, la capacidad de energía solar en el país es actualmente 6,3 GWp. Analizando el potencial del Flotante PV se pueden destacar dos contextos de aplicación en detalle: generación distribuida en embalses de riego en la agricultura, y generación para la red en embalses grandes.

#### Generación distribuida en embalses de riego en la agricultura

La agricultura chilena está basada en el riego y, por lo tanto, se ha hecho más riesgosa en las últimas décadas. Es por eso que desde el año 2010 la Comisión Nacional de Riego (CNR) ha realizado más que 2.200 proyectos en que construyó, amplió o rehabilitó embalses y tranques agrícolas, para asegurar la disponibilidad de agua para el riego durante todas las estaciones del año.

Es en estos embalses y tranques, que tienen el objetivo de guardar agua para el riego, se encuentra un gran potencial para los sistemas Flotante PV: el bombeo de agua requiere energía, y en los últimos años se observó un aumento de sis-

temas PV para el bombeo de agua de riego, también llamado bombeo solar. La CNR realizó casi 1.500 proyectos de bombeo solar desde el año 2013.

En este contexto el Flotante PV tiene el potencial de generar energía limpia para el riego de forma distribuida en las granjas a lo largo del país a pequeña escala, empujando el desarrollo del sector rural y a la misma vez protegiendo el agua de la evaporación.

Existe la posibilidad del desarrollo de proyectos Flotante PV con la CNR, a través de los concursos de la Ley N° 18.450, derivado de que hay factibilidad técnica para su participación y no existen impedimentos desde el punto de vista normativo.

#### Generación para la red en los embalses grandes

Los embalses grandes a lo largo del país cumplen importantes funciones: almacenamiento de agua potable o para riego, y generación de energía. En los datos obtenidos de la Biblioteca del Congreso Nacional y de la Dirección General de Aguas, se encuentran registrados 61 embalses con una superficie mayor a 50 hectáreas, que tienen el potencial para el desarrollo de proyectos Flotante PV de gran escala, mayores a 3 MWp. Este tipo de proyectos contribuiría a la generación de electricidad limpia, sobre todo en las regiones de la zona central del país, donde hemos observado un conflicto de uso de suelo entre los grandes proyectos PV y la agricultura. También, en el caso del uso de embalses para la generación hidroeléctrica, existe la posibilidad de utilizar infraestructura de transmisión de energía ya existente. Adicionalmente, este tipo de proyectos permiten proteger grandes superficies de agua de la evaporación, con el potencial de ser parte de la solución a la crisis hídrica.

## Recomendaciones para aprovechar el potencial del Flotante PV

El Ministerio de Medio Ambiente de Chile publicó un plan nacional de adaptación al cambio climático, que hace hincapié en la necesidad de una agricultura resiliente al clima. La adaptación se centra en el uso eficiente de la energía y el agua, y debe garantizar que la agricultura siga siendo viable bajo un clima más cálido y seco. En este sentido, el concepto Flotante PV puede ser un pilar fundamental.

Entendemos que el mercado de Flotante PV a nivel mundial se ha desarrollado rápidamente en los últimos años a nivel mundial, especialmente en embalses, con el doble objetivo de aumentar la producción de energía renovable y ahorrar agua.

Para aprovechar el potencial que tiene la tecnología en Chile se surgieron acciones en varios niveles:

- Se requiere investigación local con respecto a los impactos en la generación eléctrica, la generación distribuida y la protección del agua. Estudios en zonas climáticas comparables a Chile prometen un alto potencial, pero la validación aquí en Chile queda pendiente.
- A nivel de agricultores PyMEs se debe crear conciencia y conocimiento sobre la tecnología y sus impactos. Fraunhofer Chile está aportando en posicionar este concepto con el proyecto FIC-R Met: Flotante PV y con la difusión que realizó durante toda su extensión, en conjunto con instituciones como la Asociación Gremial de Riego y Drenaje (AGRYD) y la Comisión Nacional de Riego (CNR).
- Para desarrollar una industria local de los componentes específicos de Flotante PV, y aumentar su conocimiento entre instaladores, se sugiere incentivar proyectos con apoyo estatal y, fomentar una industria local de Flotante PV, la cual tendría el potencial de reducir los costos logísticos de futuros proyectos, apoyando su rentabilidad.



<sup>15</sup>Ministerio de Agricultura, Plan de Adaptación Al Cambio Climático Del Sector Silvoagropecuario.

## 6. Fraunhofer Chile apoya a la industria en el desarrollo del Flotante PV

### Nuestro apoyo en el desarrollo de nuevas tecnologías en Chile

Fraunhofer Chile Research apoyar a la industria local para comercializar la tecnología Flotante PV, como una solución sostenible para proporcionar energía y proteger el recurso hídrico. La integración de la energía solar tiene el potencial sinérgico de adaptar la agricultura a los efectos de la crisis climática. Mediante equipos interdisciplinarios, que desarrollan y prueban el concepto Flotante PV bajo condiciones locales, Fraunhofer CSET optimiza los aspectos económicos, ecológicos y sociales, considerando a todas las partes involucradas para maximizar los beneficios a lo largo de la cadena de valor.



Fraunhofer Chile trabaja en la solución de los desafíos presentes, para poder aprovechar el potencial del Flotante PV en Chile. El Centro de Tecnologías para Energía Solar (CSET), de Fraunhofer Chile Research, fue constituido en respuesta a la llamada del Ministerio de Economía de Chile, a través de la agencia de desarrollo económico CORFO, para establecer Centros de Excelencia de Investigación Internacional. En 2015 comienzan las operaciones de Fraunhofer CSET, basado en el modelo de innovación de Fraunhofer Alemania, que busca desarrollar ciencia y tecnología aplicada para resolver las necesidades de la industria.

Fraunhofer CSET tiene por misión ser la institución líder en Chile y América Latina, en investigación y desarrollo en el área de sistemas de energía solar y energía eficiente, con excelentes resultados de investigación, proyectos exitosos, cooperaciones y spin-offs, con el fin de desarrollar una economía solar sostenible y económica, para proveer un suministro energético seguro y socialmente equilibrado en la región.

Más información:  
<https://www.fraunhofer.cl>

Porque la misión de Fraunhofer Chile es habilitar la industria local, lleva a cabo una continua investigación sobre los temas relacionados a Flotante PV. También ofrece servicios y consultoría a lo largo de toda la cadena de valor, con el fin de crear resultados que sirvan como base, para las siguientes actividades económicas independientes de nuestros clientes. Fraunhofer participa desde el análisis de potencial de implementación de proyectos, hasta las etapas de aviso legal y diseño, siendo un ente independiente de las empresas instaladoras y/o proveedoras de tecnologías, velando así por los intereses de agricultores, PyMEs e industrias locales. Los servicios que ofrece FCR en conjunto con Fraunhofer ISE en Alemania son:



#### ESTRATEGIA Y ANÁLISIS DE POTENCIAL

- Análisis de potencial geo referencial y del mercado.
- Desarrollo de modelos de negocios.
- Diseño de políticas y aspectos legales.
- Workshops transectoriales.



#### MONITOREO Y APOYO CIENTÍFICO

- Control específico de FPV.
- Controles de fiabilidad específicos de FPV.
- Evaluación de la lixiviación y liberación de contaminantes.
- Mantenimiento predictivo.



#### DESARROLLO DE PROYECTOS

- Análisis de los potenciales solares / lugares de instalación.
- Estudio de prefactibilidad.
- Simulación de la luz y rendimiento.
- Estudios de viabilidad económica.
- Simulación de cargas de viento y oleaje.

## Contacto

Fundación Fraunhofer Chile Research  
Centro de Tecnologías para Energía Solar  
General del Canto 421, piso 4  
Oficina 402

Providencia, Santiago de Chile  
Codigo Postal: 7500588  
Teléfono Central: 22 378 1660

[www.fraunhofer.cl](http://www.fraunhofer.cl)  
E-mail: [contacto@fraunhofer.cl](mailto:contacto@fraunhofer.cl)  
Twitter: @FraunhoferChile  
Linkedin: Fraunhofer Chile

