

INFORME DE CIERRE CORFO

TÍTULO DEL PROGRAMA:
**ATRACCIÓN DE CENTROS DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL EN I+D PARA LA COMPETITIVIDAD**

CÓDIGO:
13 CEI 2 - 21803

FECHA INICIO:
13/02/2015

NOMBRE DEL CEI:
FRAUNHOFER ISE

INSTITUCIÓN BENEFICIARIA (CEI-CHILE):
**FRAUNHOFER CHILE RESEARCH-(FCR)
CENTRO DE TECNOLOGÍAS PARA ENERGÍA SOLAR (CSET)**

DIRECTOR EJECUTIVO DEL CEI-CHILE:
PROF. DR. FRANK DINTER

NOMBRE EJECUTIVO A CARGO:
CATALINA TORRES

PERÍODO DE REPORTE:
13/02/2018 - 13/02/2021

Fase II

INFORMACIÓN PRELIMINAR

NOMBRE DEL CENTRO	FRAUNHOFER CHILE RESEARCH - CENTER FOR SOLAR ENERGY TECHNOLOGIES (CSET)
CÓDIGO PROYECTO	13FRAUNHOFER ISE1 – 21803
NOMBRE EJECUTIVO CORFO	CATALINA TORRES
SIGLA DEL CENTRO	CSET
NOMBRE DIRECTOR EJECUTIVO	FRANK DINTER
E-MAIL	FRANK.DINTER@FRAUNHOFER.CL
TELÉFONO	+56 2 23780 1668
NOMBRE DIRECTOR ALTERNO	MARCO VACCAREZZA
E-MAIL	MARCO.VACCAREZZA@FRAUNHOFER.CL
TELÉFONO	+56 2 23780 1668
PERÍODO CONTRACTUAL	FASE II – 36 MONTHS
FECHA DE INICIO FASE	13/02/2018

INDEX

RESUMEN EJECUTIVO	5
1. Introducción	9
2. Línea Corporativa	12
2.1. Descripción y Objetivos	12
2.2. Gobernanza – Modelo Organizacional	13
2.3. Rol de CSET, co-ejecutor UC y asociados	22
2.4. Estrategia de Marketing y Comunicaciones	23
2.5. Resultados Principales.....	29
3. Líneas de Investigación	33
3.1. RL1 – Sistemas Fotovoltaicos	34
3.1.1. Diseño y Optimización de Sistemas PV	37
3.1.2. Evaluación de Calidad PV en Ambiente Desértico	51
3.2. RL2 – Sistemas Solares Térmicos.....	59
3.2.1. Concentración Solar de Potencia (CSP)	61
3.2.2. Calor Solar para Procesos Industriales	66
3.3. Proyectos Transversales.....	80
3.4. Desarrollo de Negocios	87
3.4.1. Estrategia de Negocios	87
3.4.2. Contratos con la Industria	93
3.4.3. Financiamiento Complementario.....	97
4. Transferencia Tecnológica.....	102
4.1. Modelo de Vinculación.....	102
4.2. Modelo de Transferencia Tecnológica - Enfoque teórico	104
4.2.1. Technology Push	105
4.2.2. Market Pull	105
4.3. Comercialización	107
5. Fraunhofer ISE y Transferencia Tecnológica desde Alemania	108
5.1. Transferencia Tecnológica, Actividades y Resultados.....	109
6. Propiedad Intelectual.....	115

6.1.	Estrategia de Protección de IP	115
6.1.	Propiedad Intelectual, Actividades y Resultados	116
7.	Redes Nacionales e Internacionales.....	117
7.1.	Estrategia de Networking.....	117
7.2.	Redes del Ecosistema, Actividades y Resultados	119
7.3.	Impacto de las Redes del Ecosistema.....	122
8.	Desarrollo de Capacidades.....	124
8.1.	Entrenamiento equipo CSET	124
8.2.	Infraestructura y Equipamiento de Laboratorio y Mediciones	126
9.	Indicadores de Fase II.....	128
10.	Tabla de Figuras.....	133

RESUMEN EJECUTIVO

El presente informe tiene como objetivo reportar las actividades, avances y resultados de la Fase II de Fraunhofer Chile Research (FCR) – Center for Solar Energy Technologies (CSET), durante los tres años de operación correspondientes a la etapa, desde el 13 de febrero de 2018, hasta el 13 de febrero de 2021. CSET se enmarca dentro del programa de CORFO “Atracción de Centros de Excelencia Internacional en I+D para la Competitividad”, con el código del proyecto 13CEI2-21803.

El período en cuestión ha sido decisivo para el desarrollo del Centro, tanto por procesos internos de cambio, como factores externos que han cambiado las reglas del juego y puesto nuevos paradigmas en el ecosistema solar y la economía nacional. Durante el inicio de la fase, fueron dos las iniciativas que marcaron la pauta para el desarrollo de CSET durante estos tres últimos años. En primer lugar, con el objetivo de fortalecer el contacto tanto con la industria solar como con la academia, se nombra como director ejecutivo el Prof. Dr. Frank Dinter, dada su reconocida experiencia científica, técnica e industrial en proyectos emblemáticos en energía solar, tales como el desarrollo de la planta de concentración solar de potencia ANDASOL 3, ubicada en Granada, España. Y, en segundo lugar, el cambio estratégico derivado del estudio realizado por la consultora Phibrand, el cual fue contratado como requisito levantado por el Hito Crítico indicado por CORFO.

Este estudio de parte de Phibrand dio las bases y lineamientos generales para trazar la estrategia de negocios de CSET, basado en la oferta de servicios de I+D que el Centro provee a la industria solar nacional, considerando la adicionalidad y el alto valor para el mercado, y enfocándose en la transferencia y generación de contenido tecnológico e innovador. El estudio indica que las industrias consumidoras de energía en general no han aún adoptado soluciones solares a nivel masivo, por lo cual éstas no identifican necesidades o problemas que puedan ser resueltos mediante I+D, y los pocos que identifican suelen ser de baja complejidad siendo resueltos por la oferta actual.

A partir de este escenario, se define una estrategia de no competir con actores existentes, sino de impulsar el surgimiento de nuevos mercados, abriendo y generando espacios de conveniencia para que nuevos consumidores industriales (demanda potencial) adopten soluciones en base a energía solar. Todo esto genera la necesidad inmediata de realizar I+D, adaptando tecnologías disponibles para nuevos usos, identificando tecnologías en desarrollo capaces de resolver problemas en las industrias, levantando problemáticas propias de la realidad nacional, entre otros.

Ante un creciente mercado solar alrededor de la industria productiva, es posible levantar nuevos requerimientos en los procesos industriales presentes en el mercado nacional e incentivar el uso o adaptación de nuevas tecnologías, que puedan representar soluciones innovadoras, eficaces y eficientes a problemas identificados y otras potenciales brechas operacionales. Cabe destacar que la búsqueda de oportunidades de negocios para CSET da

respuesta y solución a problemáticas reales, actuales y futuras de industrias tan amplias como la Minería, Energía y procesos industriales de diferentes sectores, todo los cuales requieren no solo encontrar una solución a sus problemas y/u optimizar su operación, sino que apoyen en procesos de puesta en marcha de las soluciones.

Por otro lado, otra línea de trabajo que motiva el quehacer de CSET en el país es apoyar al sector público en la definición de estrategias y normativas, que impulsen la economía nacional y permitan el uso y masificación de la energía solar tanto en la industria como el sector privado y particular. Para esto, CSET colabora con iniciativas públicas, participando e impulsando actividades y proyectos que apoyan la generación y difusión del conocimiento y de nuevas capacidades. También a través de fondos públicos CSET ha transferido tecnologías, entregando no sólo conocimientos a distintos actores, sino que además permitiendo a PYMEs mejorar su competitividad e impulsar la replicabilidad de proyectos.

Para esta Fase II, CSET se reorganizó en dos Líneas de Investigación, además de la Línea Corporativa que incluía tanto la dirección del Centro como el área de Desarrollo de Negocios. Mediante un refuerzo específico de competencias del equipo de Desarrollo de Negocios, los profesionales de esta área cuentan con experiencia y conocimiento para llevar a cabo de manera permanente y constante las actividades de comercialización y transferencia tecnológica, aun cuando en la práctica, todos los investigadores del Centro apoyan estas actividades. En cuanto a las Líneas de Investigación, se presentan dos áreas durante toda la duración de la fase, Sistemas Fotovoltaicos y Sistemas Solares Térmicos.

En relación a la estrategia para mejorar el posicionamiento del Centro en el mercado, año tras año se desarrolla un Plan de Marketing y Comunicaciones, con el objetivo de identificar e informar al público objetivo y crear y distribuir contenido relevante para clientes y potenciales clientes para atraerlos al Centro y conectar con ellos. Lo anterior es logrado mediante la participación u organización de seminarios, talleres, eventos de difusión, u otros, además de complementar todo esto con una activa presencia en redes sociales, prensa tradicional y digital.

En la búsqueda de opciones para soportar la sustentabilidad financiera a largo plazo de CSET, se comenzó la implementación durante el año 2018 de una estrategia para levantar fondos internacionales, la cual complementa la constante búsqueda de fondos nacionales. Esta parte con el análisis de diversos programas de financiamiento internacionales y la evaluación de posibilidades de postulación y adjudicación, parte de la labor del área de Desarrollo de Negocios. Parte importante del proceso de evaluación de fondos internacionales contempla considerar los esfuerzos de coordinación con agencias o con actores industriales de los países de los cuales provienen los fondos, y los plazos y tiempos de formulación, evaluación y entrega de fondos.

En lo referente a la estrategia de transferencia de conocimiento, para asegurar y fortalecer la conexión de CSET y Fraunhofer ISE con el ecosistema solar en Chile, se continúa el trabajo

en tres pilares: Transferencia de conocimiento de Fraunhofer ISE a FCR-CSET, Transferencia de conocimiento a instituciones públicas/universidades y Transferencia de conocimiento a instituciones privadas/industria. CSET y Fraunhofer ISE han colaborado y trabajado en conjunto, mediante el intercambio de experiencias y conocimientos gracias a pasantías de personas de CSET en ISE y visitas de líderes de ISE en temáticas como Hidrógeno Verde, sistemas Agrovoltaico, tecnologías de paneles fotovoltaicos bifaciales, soiling, entre otros. Además, ya se ha comenzado a trabajar en Proyectos Estratégicos, con el objetivo de realizar estudios de mercado que permitan explorar entre los dos centros los potenciales mercados donde se requiera mayor investigación y desarrollo.

En cuanto a la vinculación con la Pontificia Universidad Católica de Chile, co-ejecutor de Fraunhofer CSET, continúa el trabajo del *Steering Committee*. Las mejoras alcanzadas en la forma de trabajar entre FCR-CSET y el co-ejecutor UC han redundado positivamente en los resultados a obtener de los proyectos. De esta forma, se han promovido estrategias para incrementar el trabajo conjunto entre investigadores UC e investigadores CSET, facilitar la estadía de investigadores UC en Fraunhofer ISE, y planificar estadías prolongadas de investigadores ISE en Chile.

CSET y el Contexto Actual

Chile se enfrenta a nuevos retos y el país iniciará en breve el proceso de definición de una nueva Constitución. Esta situación, junto con la crisis sanitaria, impone fuertes desafíos e incertidumbres, lo que afecta a la situación económica y al proceso de toma de decisiones de las industrias y los agentes económicos. Pero al mismo tiempo, estos desafíos representan una oportunidad para el país. Uno de los temas importantes que se discutirán en el proceso constitucional es, por supuesto, el cambio climático, y cómo establecer en Chile una vía de crecimiento sostenible.

La gente ha manifestado claramente que la sostenibilidad y la definición de nuevas normas sobre el impacto social y medioambiental a la hora de instalar proyectos industriales son ahora aspectos clave. Además, existe un acuerdo generalizado sobre la idea de que el sector de energías renovables es una de las industrias clave que apoyará la recuperación económica. Otro aspecto relevante en este ámbito es que en el debate sobre el cambio climático y las energías limpias, no hay polarización; no hay grandes desacuerdos entre diferentes sectores de la sociedad, por el contrario hay un consenso general. Y esta condición es cada vez más fuerte, dado el gran potencial que tienen las energías renovables en nuestro país, en particular la Energía Solar. Dado que el objetivo final del Fraunhofer CSET es precisamente "Solarizar Chile", este consenso generalizado, tanto público como privado, respecto del rol clave que puede jugar la Energía Solar en la definición de una nueva era en la economía chilena, representa una clara e importante oportunidad para nuestra institución y para el país.

El papel que puede jugar el CSET en traer la tecnología al país, adaptarla e integrarla eficientemente a la realidad y condiciones chilenas, es fundamental. El proceso de

transferencia, adaptación e integración de tecnología representa un gran desafío en materia de investigación aplicada e innovación. Los objetivos que el país se ha marcado en cuanto al desarrollo de una economía limpia son muy ambiciosos. No bastará con integrar la energía solar (fotovoltaica y solar térmica), entre otras fuentes de energía renovable con gran potencial, a la matriz energética eléctrica, sino que serán necesarios cambios radicales para cumplir con las metas de desarrollo sostenible.

Todos estos esfuerzos deben ir orientados a la descarbonización del país, incluyendo sectores distintos al energéticos, mediante iniciativas dirigidas a temáticas como el transporte, calor industrial, calefacción residencial en el sur de Chile, etcétera. Estas iniciativas requerirán grandes inversiones y desarrollos tecnológicos a gran escala para potenciar líneas transversales y extensiones de la energía solar como el Hidrógeno Verde y la electromovilidad. En Hidrógeno Verde, Chile ya cuenta con una Estrategia Nacional, dando claras señales de apoyo en la promoción de este mercado, por lo que la transferencia tecnológica de Fraunhofer Alemania a Chile se hace aún más necesaria. Esto conectaría el capital alemán con el ecosistema local (empresas de servicios públicos, minería y otros actores locales) y, por lo tanto, ayudaría al desarrollo de pilotos a escala industrial, aspecto crítico para el desarrollo de la industria del hidrógeno en Chile. La atención debería centrarse en conectar a la industria y a los actores financieros, basándose en la transferencia de tecnología, permitiendo proyectos a gran escala, en lugar de centrarse, por ejemplo, en el desarrollo de pilas de hidrógeno innovadoras a nivel local, o en otros campos de investigación básica.

Al igual que el hidrógeno, la electromovilidad es otro campo en el que el CSET puede ayudar a desarrollar proyectos con aplicaciones de energía solar a escala industrial, transferir tecnologías y adaptarlas a las condiciones locales, desarrollar modelos de negocio adaptados a la realidad chilena y potenciales usos de alto impacto. Por ello, para la Fase III de CSET, Hidrógeno y Electromovilidad, tendrán un papel fundamental. Muchas de estas actividades en tecnologías de Hidrógeno Verde y electromovilidad ya han comenzado.

Por último, cabe mencionar el carácter de consolidación para esta Fase II, donde desde un cambio estratégico en la vinculación con la industria se ha podido potenciar el uso de energías solares en los sectores productivos, adaptando tecnologías innovadoras al contexto nacional y conociendo aún más las necesidades del mercado. Hoy, CSET está preparado para buscar la colaboración con la industria y llevar adelante el cambio que necesita el país en temas de sostenibilidad, a través del uso de la energía solar y sus aplicaciones.

1. Introducción

El Centro Internacional de Excelencia en Chile, **Centro para Tecnologías de Energía Solar** (CSET por su sigla en inglés, Center for Solar Energy Technologies) de Fraunhofer Chile Research (FCR), se encuentra en operación desde febrero de 2015. Los co-ejecutores del Centro son la Pontificia Universidad Católica (UC) y Fraunhofer Institute for Solar Energy (ISE), ubicado en Friburgo de Brisgovia, Alemania.

La Fundación Fraunhofer Chile Research (FCR) fue creada en el año 2010 para promover el intercambio científico entre Chile y Alemania. Apoyado por CORFO, el primer Centro de Excelencia Internacional en Chile fue el Centro para Biotecnología de Sistemas de FCR (CSB por su sigla en inglés, Center for Systems Biotechnology), operando desde el año 2010 en colaboración con el Fraunhofer Institute for Molecular Biology and Applied Ecology (IME). El segundo centro bajo el amparo de FCR fue CSET, postulado en el año 2013 y operando desde 2015, con el foco principal en sistemas fotovoltaicos y sistemas solares térmicos.

El modelo de Fraunhofer en I+D aplicada busca transferir el desarrollo tecnológico al mercado solar de la Industria nacional. Para ello, el Centro se configuró para esta segunda etapa en dos Líneas de Investigación, además del área Corporativa que incluye tanto el personal de Administración, como el equipo de Desarrollo de Negocios. Los profesionales de CSET, con su experiencia y conocimiento, llevan la tarea de comercializar los proyectos de I+D aplicada y de transferir el conocimiento a la industria, manteniendo una constante y fluida relación entre las áreas técnicas y de negocio. Actualmente, el personal involucrado entre el Centro mismo y el co-ejecutor UC en los proyectos de CSET alcanza los 40 profesionales.

Desde el año 2015 CSET mantuvo sus operaciones en las dependencias de UC, en el Centro de Innovación UC Anacleto Angelini. Desde diciembre de 2019, el Centro opera en un edificio ubicado en General del Canto, Providencia, con una infraestructura de oficinas de 178 m² que se ajusta a los objetivos y necesidades estructurales, organizacionales y económicas del equipo solar de FCR.

Las Líneas de Investigación (RL) de CSET para la Fase II fueron:

- RL1: Sistemas Fotovoltaicos.
 - Adaptar las tecnologías y productos existentes a las condiciones locales.
 - Utilizar, además de sus propios conocimientos, la experiencia y el know-how de Fraunhofer ISE para instalar, operar y gestionar aplicaciones solares innovadoras.
 - Diseñar y optimizar sistemas fotovoltaicos.
 - Evaluar y optimizar el rendimiento de las plantas fotovoltaicas en condiciones desérticas, mediante análisis y testeo de soluciones.
- RL2: Sistemas Solares Térmicos.

- Amplia experiencia en energía solar de concentración (CSP) y calor solar para procesos industriales (SHIP).
- Evaluar el potencial y las aplicaciones de estas tecnologías considerando los altos valores de radiación en el territorio chileno.
- Estudiar tecnologías de energía solar con sistemas de almacenamiento, lo cual es clave tanto para la industria chilena como a nivel mundial.

La estrategia del Centro busca habilitar y/o acceder a nuevos mercados a través de casos de negocio, acercándose a los clientes mediante el desarrollo de alianzas con proveedores intermedios (modelo "cliente final - patrocinador").

Como parte de la estrategia para mejorar el posicionamiento del Centro, se ha desarrollado un plan de marketing de contenidos orientado a la creación y difusión de contenidos relevantes para los clientes actuales y potenciales, que permitan conocer las capacidades del centro y cómo éstas pueden apoyar a los clientes en la resolución de sus problemas y/o en la mejora de su competitividad. Parte de este esfuerzo contempla el desarrollo de Whitepapers para cada uno de los proyectos y/o tecnologías emblemáticas, en un lenguaje sencillo y directo y un formato atractivo, capaz de mostrar las principales características de las soluciones, su alcance o sectores de aplicación, y el potencial impacto en la competitividad de las empresas.

Actualmente, la economía chilena se enfrenta a un período de cambios difíciles. El precio del cobre bajó en 2017/18 y las inversiones de la industria chilena disminuyeron. Además de la reticencia de los clientes industriales, a mediados de octubre de 2019 comenzaron los disturbios sociales que causaron graves daños en la infraestructura. Seguimiento de la crisis mundial COVID-19, que comenzó a mediados de marzo de 2020 en Chile. Los tres problemas están afectando la economía, y el comercio local y mundial.

Fraunhofer Chile siguió adelante durante todos estos tiempos difíciles, pero también tuvo que aceptar que algunos proyectos industriales relevantes no salieran adelante por razones económicas y organizativas. A pesar de todo, CSET se encuentra bien establecido en el ecosistema solar nacional.

Debido a la tradicionalmente baja inversión de la industria en Chile en I+D, a la reducción de la actividad minera debido a la presión económica y a la crisis sanitaria, Chile cuenta con pocas empresas de desarrollo tecnológico. Fraunhofer Chile Research (FCR), con sus dos centros, puede desempeñar un papel importante en el panorama de la investigación chilena y, además de Fraunhofer IME y Fraunhofer ISE, hay más Institutos Fraunhofer interesados en entrar en escena, aprovechando las oportunidades de investigación y negocio en los interesantes y crecientes sectores de Chile, donde ya se han organizado y ejecutado seminarios y talleres en conjunto.

La importancia de la energía solar es bien reconocida como una parte importante, creciente

e integrada en la matriz energética chilena. Los compromisos de Chile en la COP25 incluyen las energías renovables para lograr una matriz descarbonizada en 2050 y acelerar el progreso hacia una economía más sostenible. CSET tiene mucho que aportar al futuro energético proyectado de Chile, como se explicará en este Informe de Cierre.

El slogan de CSET: *¡Solaricemos Chile!*

CSET y el Ecosistema Solar

En línea con el compromiso de entregar conocimiento a la comunidad, el Centro realiza distintas actividades de difusión, como seminarios abiertos y gratuitos dirigidos a la comunidad en general, con la participación de actores públicos, privados y académicos, vinculados al ecosistema de la energía solar a nivel nacional, y a las industrias que pueden mejorar su competitividad y sostenibilidad incorporando soluciones basadas en energía solar a sus procesos.

CSET ha identificado problemas operacionales que afectan tanto a plantas solares térmicas como fotovoltaicas en su desempeño. Es por ello que el Centro continua su trabajo con el sector público y privado por igual, en búsqueda de soluciones para Chile y América Latina.

Con respecto a la estrategia de transferencia de conocimiento, y con el objetivo de asegurar y potenciar la conexión de CSET y Fraunhofer ISE con el ecosistema solar en Chile, el trabajo se sustenta en tres pilares: Transferencia de conocimiento desde Fraunhofer ISE a CSET; transferencia de conocimiento hacia el sector público y académico; y transferencia de conocimiento hacia el sector privado.

Durante toda la Fase II, CSET y Fraunhofer ISE han colaborado en conjunto a través del intercambio de experiencia y conocimiento gracias a pasantías de colaboradores de CSET en Fraunhofer ISE, y visitas de investigadores de ISE a Chile, vinculados a temáticas como Hidrógeno Verde, sistemas agrivoltaicos, tecnologías de paneles fotovoltaicos bifaciales, ensuciamiento, entre otros.

Hacia finales del año 2019, CSET e ISE han, adicionalmente, empezado a trabajar en Proyectos Estratégicos, con el objetivo de llevar a cabo estudios de mercado que permitan explorar de manera conjunta los potenciales mercados donde más I+D es necesitada, apuntando a brindar más investigación aplicada de Alemania a Chile.

Desafortunadamente, debido a la pandemia y la crisis derivada de ella, durante el año 2020 las interacciones presenciales entre ISE y otros actores fue suspendida, dándole prioridad a los contactos virtuales entre las partes. A pesar de ello, el Director del Centro, Frank Dinter, aún gestiona visitas a Alemania para juntas y reuniones estratégicas, tanto en Friburgo como en Múnich.

2. Línea Corporativa

2.1. Descripción y Objetivos

La administración corporativa de CSET es responsable del éxito científico y económico del Centro, así como de la implementación óptima del proyecto CSET. Esta debe revisar permanentemente el cumplimiento del plan estratégico, mantener contacto frecuente con empresas en búsqueda de oportunidades de I+D, guiar y dirigir a los líderes de las Líneas de Investigación, asegurar que todos los aspectos de la Propiedad Intelectual y de la Transferencia Tecnológica son llevados a cabo de manera correcta, coordinar las comunicaciones con el personal administrativo de FCR, y garantizar una comunicación clara con el co-ejecutor UC y Fraunhofer ISE.

El objetivo último de esta área es la operación sostenible y el crecimiento del Centro, en las áreas de investigación aplicada orientada a la industria en temáticas de materiales, componentes y sistemas relacionados a la energía solar y sus aplicaciones. Esta debe gestionar la investigación de forma interdisciplinaria, costo-eficiente y apuntando a niveles altos de disponibilidad en cuanto a tecnología (TRL) y mercado (MRL).

La Línea Corporativa debe cumplir con un gran número de tareas necesarias para garantizar la excelencia científica, la aplicabilidad y usabilidad de los servicios de I+D para clientes operando en Chile y América Latina. La operación económicamente sostenible del Centro es necesaria, a través del desarrollo estratégico de conocimiento, de Propiedad Intelectual, de infraestructura de laboratorio, y de difusión y divulgación de información.

Esta área debe enfatizar el carácter no consultivo del Centro, ni de proveedor de servicios comerciales tradicionales. Si bien una conexión cercana con las necesidades de los clientes industriales es necesaria, servicios estándares serán ofertados al mercado solamente ante el hecho de que no existan proveedores nacionales que entreguen estos servicios con el estándar mínimo requerido en nuestro país.

2.2. Gobernanza – Modelo Organizacional

CSET no es una entidad legal, ni lo es Fraunhofer ISE, ni tampoco el grupo de científicos del co-ejecutor UC, sino que son parte de entidades legales superiores: Fraunhofer Chile Research, Fraunhofer-Gesellschaft y Pontificia Universidad Católica de Chile, respectivamente, los cuales han acordado de forma conjunta a cooperar e implementar el proyecto.

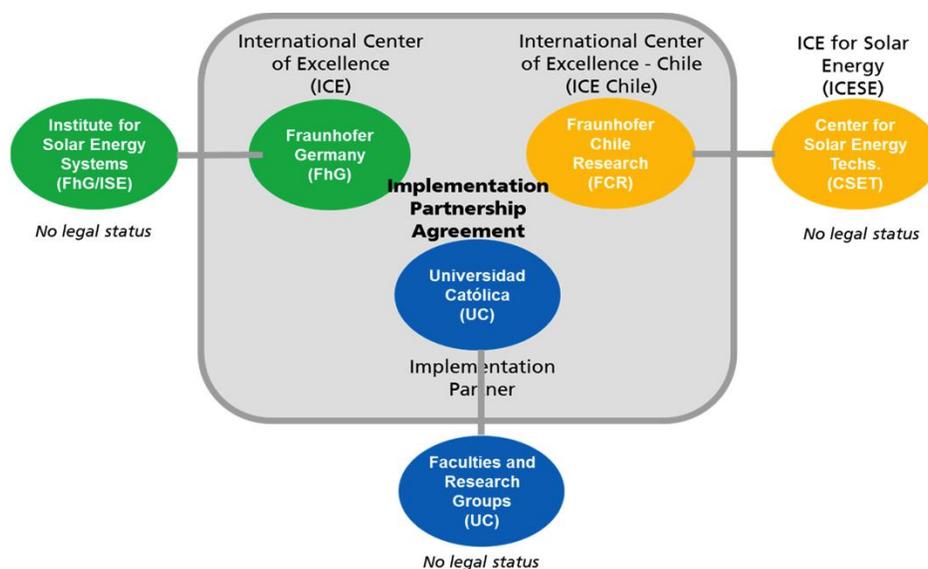


Figura 1 - Acuerdo de Asociación de CSET

La unidad corporativa de CSET consiste en:

- Director Ejecutivo
- Asistente administrativa
- Desarrollo de Negocios
- Comunicación y Marketing
- Juntas Asesoras (Steering Committee, Scientific Advisory Board, Industrial Advisory Board)

En cuanto a la investigación en CSET, esta es organizada en Líneas de Investigación (RL, Research Lines) dirigidas por cada líder de línea. La Línea de Investigación 1 (RL1) “Sistemas Fotovoltaicos” y la RL2 “Sistemas Solares Térmicos” incorporan todos los investigadores, ingenieros, estudiantes y técnicos que trabajan y gestionan los proyectos, tanto los financiados con financiamiento público, como los financiados por privados. Dentro de las RL, y cuando así se requiera, grupos de trabajo son creados para facilitar la coordinación y colaboración en proyectos de gran envergadura. Análogamente, para proyectos con temáticas relacionadas tanto a RL1, como a RL2, equipos de trabajo son formados de manera transversal a ambas Líneas de Investigación. Esto no implica una duplicidad en cuanto a jefaturas, sino más bien a una responsabilidad en cuanto al progreso del proyecto.

Ambas RL son replicadas en el co-ejecutor UC, con responsabilidades y estructura organizacional similar, existiendo una clara correlación entre el trabajo investigativo entre FCR CSET y UC.

La Línea Corporativa administra de igual manera las comunicaciones internas de CSET, el entrenamiento del personal, la gestión de la Propiedad Intelectual y el desarrollo de estrategias. Para esta administración, se coordinan juntas semanales entre el Director del Centro y los líderes del equipo de Desarrollo de Negocios y las RLs, con el objetivo de idear planes de acción y discutir el progreso de las tareas pendientes. Además, esta línea organiza reuniones frecuentes entre todos los colaboradores para comunicaciones de procedimientos administrativos, nuevas oportunidades y resultados de los proyectos.

Juntas Asesoras (*Advisory Boards*)

De acuerdo a los compromisos derivados de la instancia de Hito Crítico, levantada por CORFO en el año 2018, CSET ha reforzado la relación entre las tres juntas asesoras (Steering Committee, Scientific Advisory Board e Industrial Advisory Board), creando una comunicación más efectiva y frecuente, con el objetivo de asegurar que las decisiones estratégicas del Centro sean realizadas de acuerdo a las necesidades de tanto la Industria como la Academia.

En línea con lo anterior, se optó a que un miembro de la Junta Directiva de FCR se uniera a la Scientific Advisory Board y la Industrial Advisory Board. Cornelia Sonnenberg, Vicepresidenta de la Junta Directiva de Fraunhofer Chile Research, y Gerenta General de la Cámara de Comercio e Industria Chileno-Alemana (CAMCHAL), participara de las sesiones realizadas durante el último año. Adicionalmente, miembros de CORFO y del Ministerio de Energía son invitados a asistir a las reuniones.

A) Steering committee UC-FCR (SC)

El Director del Centro tiene la autoridad de entregar directrices a todos los colaboradores de CSET, pero no así a los investigadores y estudiantes asociados desde UC. De igual manera, decisiones en cuanto a temas administrativos u organizacionales dentro de UC, foco investigativo o estrategias de los grupos de investigadores tampoco son facultades del Director del Centro. Sin embargo, el Director del Centro tiene la responsabilidad final como coordinador científico de CSET de lograr satisfactoriamente los resultados de I+D esperados. Además, CSET tiene la responsabilidad final de administrar correctamente los fondos adjudicados, por lo que el Director debe reaccionar y tomar las medidas necesarias ante un problema con el proceso o los resultados esperados, independiente de si viene desde CSET o UC.

A principios de la Fase I, la falta de un sistema de gobernanza entre UC y CSET condujo a conflictos y dificultades comunicacionales. Como consecuencia de ello, y después de algunos procesos consultivos, se forma el Steering Committee en febrero de 2017. Este comité se reúne de manera mensual, probando ser un recurso útil en las comunicaciones y

colaboración entre las partes, además de en la búsqueda de nuevas oportunidades entre ambas partes como extensión a esta colaboración.

Con el fin de mantener el *animus societatis* del proyecto, dar respuesta de forma rápida a las oportunidades procedentes de la industria y a la vez respetar la libertad académica inherente a una universidad de investigación avanzada como UC, es que se ha creado un protocolo para resolver el problema de la concesión del derecho de tanteo (*right of first refusal*) en los proyectos de colaboración. Gracias al impacto positivo del Steering Committee, la gestión del proyecto entre ambas partes ha sido mucho más fácil los últimos años.

Los miembros del Steering Committee son elegidos por los asociados respectivos, y son:

- María Molinos, Vicedecana de la Facultad de Ingeniería de UC, en representación del rector de UC.
- Dr. Enzo Sauma, Vicedecano de la Escuela de Ingeniería de UC, en representación del Decano de Ingeniería UC.
- Dr. Rodrigo Escobar, Coordinador de Investigación UC, profesor Escuela de Ingeniería.
- Claudio Parra, representante de la Vicepresidencia de Investigación UC.
- Prof. Dr. Frank Dinter, Director de CSET.
- Marco Vaccarezza, Líder equipo Desarrollo de Negocios.
- Alois Salmon, Líder Línea de Investigación Sistemas Fotovoltaicos (RL1)
- María Teresa Cerda, Líder Línea de Investigación Sistemas Solares Térmicos (RL2)

El Steering Committee (SC) debe respetar las autoridades respectivas al momento de decidir, además de tomar decisiones de forma unánime, y no por mayoría, con el fin de mantener la relación entre las partes en el largo plazo. Este comité tiene reglas de procedimiento, entre las que se encuentran la creación de agenda para cada reunión, la preparación y toma de razón de minutas, delegación de tareas y plazos de cumplimiento, entre otras.

B) Scientific Advisory Board (SAB)

El Scientific Advisory Board (SAB) debe apoyar a CSET y el co-ejecutor UC a enfocarse en I+D relevante y de excelencia considerando el contexto tanto nacional como global, con el objetivo de generar la mejor estrategia para potenciar el ecosistema de la industria solar en Chile y Latinoamérica, dentro del marco de cooperación entre FCR, UC y Fraunhofer ISE. Como se muestra en la siguiente imagen, los miembros y responsabilidades del SAB son:

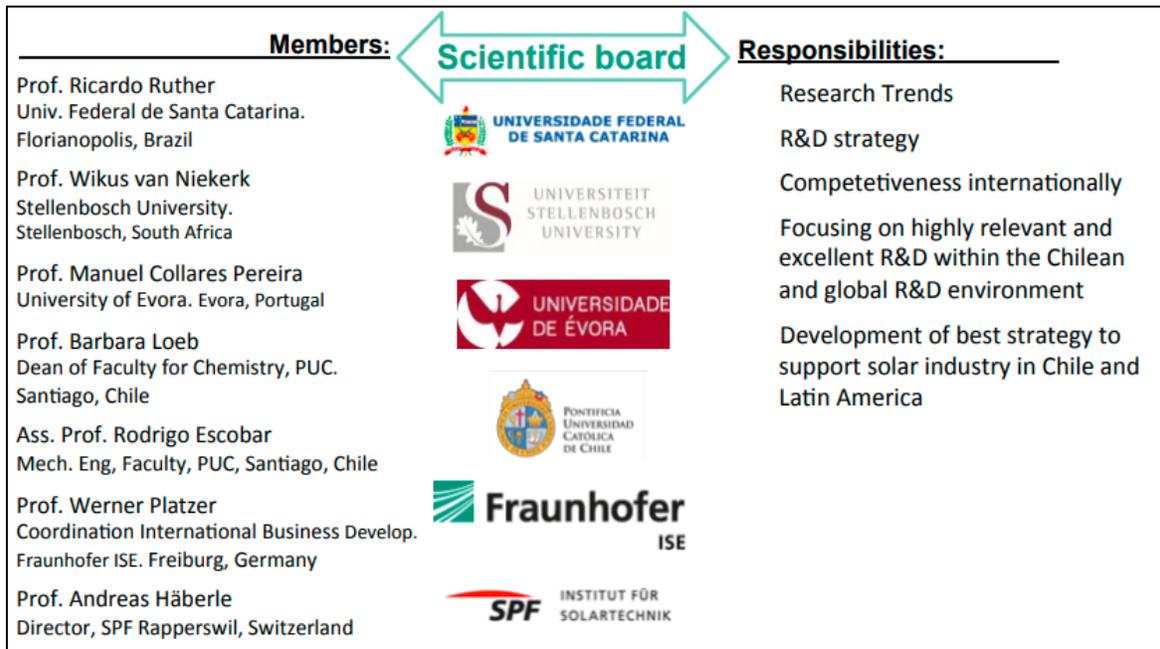


Figura 2 - Scientific Advisory Board, miembros y responsabilidades

Los Scientific Advisory Boards se han realizado de forma anual, en las siguientes fechas:

- 10 de septiembre de 2018
- 8 de noviembre de 2019.
- 23 de octubre de 2020.



Figura 3 - Scientific Advisory Board, asistentes octubre 2020

De acuerdo a lo conversado en la última sesión de esta junta asesora, CSET ha hecho bien en el continuo entrenamiento de sus colaboradores, especialmente en los viajes de capacitación a Fraunhofer ISE en temática relevantes. Este punto sigue siendo uno de los más relevantes a la hora de fomentar una mejora continua del equipo, lo cual se volvió más difícil este último tiempo debido a la situación pandémica y cuarentena en Chile, Alemania y el mundo.

Además, la junta asesora reconoció el buen desarrollo de la Estrategia de Negocios que derivó del Hito Crítico levantado por CORFO en 2018, que ha potenciado en gran medida la adquisición de nuevos clientes para el Centro.

C) Industrial Advisory Board (IAB)

El rol de esta junta asesora, el Industrial Advisory Board (IAB), es el de guiar a CSET en la mejora de sus estrategias y planes de marketing y comercialización, además de potenciar los contactos y vínculos con la industria local e internacional. Las tecnologías y las necesidades cambian, por lo que nuevos mercados emergerán en el futuro requiriendo nuevos actores provenientes de asociaciones e industrias nacionales, el rol del IAB es potenciar el carácter articulador de CSET hacia ese futuro de nuevos mercados. Esta junta asesora sigue creciendo en cantidad de miembros, con representantes de la mayoría de los sectores industriales. Los miembros y responsabilidades del IAB son, como se muestra en la siguiente figura:



Figura 4 - Industrial Advisory Board, miembros y responsabilidades

Los Industrial Advisory Boards que se han realizado a la fecha son:

- 29 de mayo de 2018
- 16 de noviembre de 2018
- 4 de junio de 2019
- 7 de julio de 2020
- 27 de noviembre de 2020



Figura 5 - Industrial Advisory Board, asistentes julio de 2020

(Para mayor información sobre las juntas asesoras, consultar Anexo 1 “Minutas SAB & IAB”)

Sopte y Administración de FCR y UC

La administración legal y financiera de las actividades de CSET son manejadas por la Oficina Central de Fraunhofer en Chile (FCR HQ), incluyendo la administración de Recursos Humanos, infraestructura TI, procesos de patentamiento, y el proceso de rendición financiera del proyecto. CSET paga por los costos reales de estos servicios a la Oficina Central (FCR HQ). La estructura general de FCR es mostrada en el siguiente gráfico:

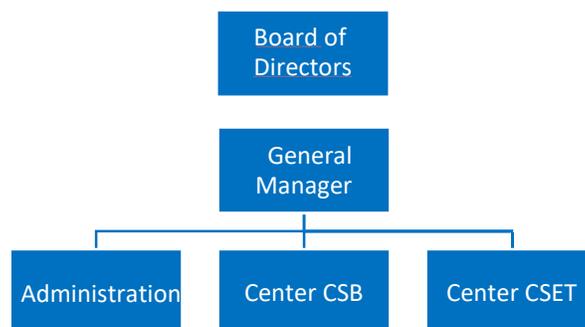


Figura 6 - Estructura FCR

En el caso del co-ejecutor UC, toda la administración y soporte se encuentra en la Escuela de Ingeniería, principalmente, y en cualquier otra Escuela que disponga de un grupo de investigadores para las tareas comprometidas al proyecto. Este modelo facilita los aspectos administrativos de las unidades de trabajo que participan del proyecto, además de brindar las actividades de administración y soporte al menor valor administrativo. Quienes están a cargo de la gestión administrativa de parte de la Escuela de Ingeniería UC tienen una comunicación directa con la Administración de FCR, usualmente coordinada a través del Coordinador de Investigación en UC, por lo que es posible mantener al tanto de forma mensual al Steering Committee de los temas más relevantes.

Algunos procesos administrativos necesarios para el soporte de las Líneas de Investigación son descritos a continuación:

- **Interacción del Centro con áreas de Finanzas, TI, RRHH y Legal de FCR.** El *core business* de la Línea Corporativa es facilitar la correcta operación administrativa de CSET, y la correcta interacción con el co-ejecutor UC con la ayuda de la unidad administrativa de FCR HQ. Las interacciones comunes entre CSET y FCR HQ son la iniciación de proyectos, la preparación de contratos, la negociación de contratos legales (Acuerdos de Confidencialidad, Memorándums de Entendimiento, contratos de I+D, licencias), la preparación de ofertas de servicios y facturas a los clientes, la adquisición de equipos y servicios a los proveedores, la correcta organización de los viajes nacionales y al extranjero, la relación laboral y los pagos, el pedido de apoyo en las actividades de relaciones públicas y difusión, así como temas de infraestructura TI. En caso de conflictos entre las partes, estos deben ser moderados por la Línea Corporativa.
- **Inversión e Infraestructura.** La Línea Corporativa necesita coordinar la adquisición de equipamiento científico o de oficina para la creación y mantenimiento de una adecuada infraestructura para que tanto investigadores como ingenieros puedan desarrollar sus tareas en las Líneas de Investigación. La adquisición de este equipamiento debe ser equilibrada entre los recursos disponibles y las necesidades para la investigación. De igual forma, el espacio de trabajo, sean oficinas o laboratorios, deben ser organizadas de una forma sostenible en el tiempo.
- **Atracción de Talentos e Investigadores.** Para potenciar el crecimiento del Centro, el Director debe coordinar con los líderes de las Líneas de Investigación el desarrollo del Capital Humano dentro de CSET, dependiendo de las competencias requeridas y los recursos disponibles. La estrategia para la atracción de investigadores está orientada a buscar capacidades complementarias a las del equipo de trabajo, tanto de CSET como de UC, tratando de evitar la duplicidad de perfiles profesionales en el mismo equipo. Analizar y reconocer las brechas de capacidades es necesario para incorporar un mejor perfil al equipo de trabajo, buscando tanto en talentos nacionales, como internacionales, además siempre teniendo en cuenta el objetivo de potenciar la participación de mujeres en la investigación.
- **Capacitaciones y Transferencia de Conocimiento.** En muchos casos, el Centro contratará científicos e ingenieros jóvenes quienes están empezando su carrera profesional en Energía Solar en CSET o UC. Es por esto que se incentivará la transferencia de conocimiento desde colegas con mayor experiencia, y capacitaciones desde UC y de Fraunhofer ISE (Alemania). Para ello, parte de la estrategia de capacitación y transferencia de conocimiento contempla la estadía de estos jóvenes investigadores en Alemania, de manera de también asegurar la buena relación con Fraunhofer ISE en el largo plazo. Estos investigadores serán preparados para orientar su estadía en el extranjero, enfocándose en una temática en particular

vinculada a algún equipo de investigadores en Alemania, para luego ser incorporados a este equipo durante su estadía. La metodología utilizada durante estos años es el “*Learning by doing*”. Al término del trabajo de investigación, el investigador/estudiante debe realizar un reporte exhaustivo del trabajo realizado, describiendo las conclusiones aprendidas.

En adición a lo anterior, distintos recursos audiovisuales (e.g. webinars) potencian la transferencia de conocimiento desde Fraunhofer ISE, al permitir el acceso al conocimiento desde una forma más remota y de fácil acceso. Este tipo de recursos se vio potenciado durante la pandemia, debido a la incompatibilidad de los viajes con el contexto sanitario mundial. Debido a la facilidad para recurrir a este tipo de recursos, una vez normalizada la situación sanitaria, se seguirá haciendo uso de ellos. Además, se planea incorporar este tipo de capacitación para temáticas distintas a las de investigación como, por ejemplo, gestión de proyectos, gestión de propiedad intelectual, transferencia de conocimiento, entre otros.

- **Transferencia de Tecnología desde Fraunhofer ISE a la industria nacional.** El proceso de transferencia tecnológica es descrito en el capítulo 5 “Transferencia Tecnológica”. Este proceso es de responsabilidad de la Línea Corporativa, teniendo al Director del Centro como principal responsable de investigar oportunidades de transferencia desde Alemania a Chile. Por un lado, es necesaria la identificación de brechas o problemas en la industria local, donde el equipo de Desarrollo de Negocios trabaja diariamente; y por el otro lado, está la identificación y actualización de nuevas tecnologías que pueden ser transferidas desde Alemania a Chile. Para este último, se utilizan insumos como reportes anuales, reportes de patentes y las mismas visitas que colaboradores de CSET realizan a Alemania, o bien, cualquier comunicación directa que se efectúe entre investigadores de ambos centros.

Estructura de CSET

Las actividades comerciales y científicas de CSET son organizadas en tres líneas, como es descrito en párrafos anteriores: la Línea Corporativa (L0), la cual engloba además el equipo de Desarrollo de Negocios; la Línea de Investigación Sistemas Fotovoltaicos (RL1); y la Línea de Investigación Sistemas Solares Térmicos, los cuales se relacionan con las otras unidades del centro como se diagrama en la siguiente figura:

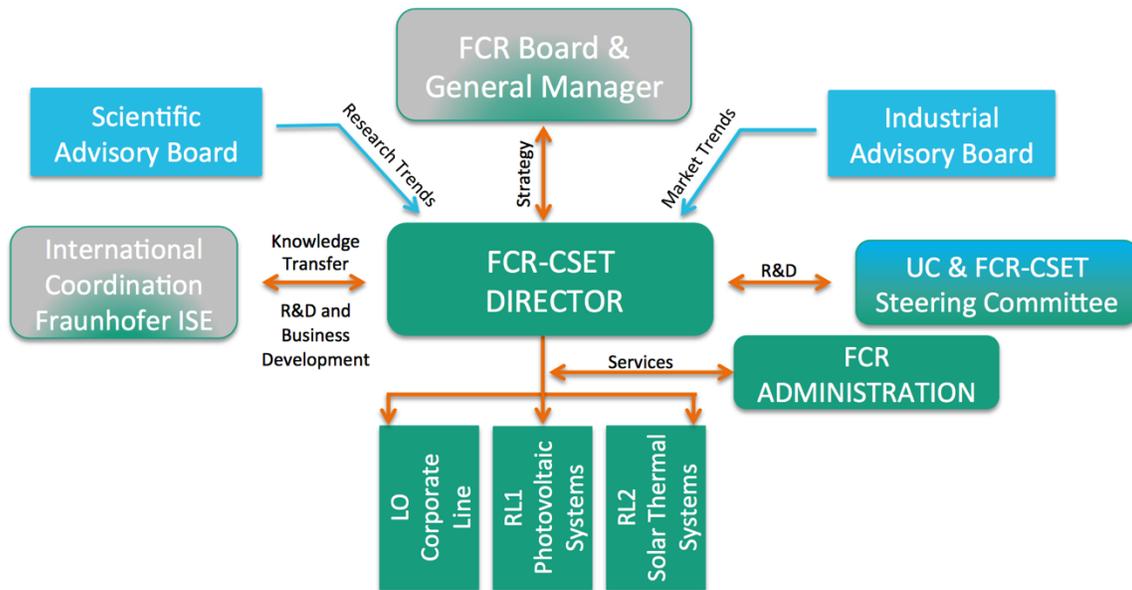


Figura 7 - Estructura CSET

2.3. Rol de CSET, co-ejecutor UC y asociados

A modo de resumen, los roles de los distintos actores involucrados están definidos de manera de no confundir las facultades de cada uno y entender de antemano donde llega la responsabilidad de cada cual. El rol de CSET como tal es el de gestionar todos los procesos internos y el desarrollo de negocios, además de coordinar la comunicación entre las partes, evaluar el trabajo propio y del co-ejecutor UC, además de desarrollar de forma conjunta con UC la estrategia de I+D. Por otro lado, es tarea de CSET el reporte a Fraunhofer ISE sobre el avance de los proyectos y los vínculos con nuevos clientes, además de mantener una comunicación constante para levantar las oportunidades de I+D aplicada donde Fraunhofer ISE pueda involucrarse desde sus capacidades e infraestructura.

El rol del co-ejecutor UC es el de apoyar las tareas administrativas de CSET al participar del Steering Committee y las juntas asesoras industrial y científica, además de proveer información técnica y financiera como insumos para los reportes a CORFO. Desde el lado técnico, el equipo de investigadores UC vela por la gestión y cumplimiento de las tareas comprometidas en el plan de investigación para el co-ejecutor UC en el marco del proyecto.

Para el caso de Fraunhofer ISE, su rol es el de facilitar el desarrollo tecnológico basado en el *feedback* recibido desde Chile (usando fondos de clientes o instituciones chilenas o internacionales) que conduzca a una Transferencia Tecnológica desde Alemania a Chile. ISE apoyará a CSET en el desarrollo de negocios al proveer de asesorías y guías de mejores prácticas, además de proveer parte de sus redes de contactos internacionales. Un punto importante dentro de las responsabilidades de ISE es el de apoyar en el entrenamiento de investigadores e ingenieros en Alemania, tanto de CSET como de UC, en el desarrollo de temáticas atinentes al proyecto, para su posterior transferencia de conocimiento al país. Esto, aparte de potenciar la relación entre CSET, UC e ISE de forma sostenible en el tiempo, permite lograr el objetivo último de este proyecto, el traspaso de conocimiento, buenas prácticas y desarrollos tecnológicos al ecosistema nacional.

2.4. Estrategia de Marketing y Comunicaciones

En cuanto a la estrategia de Marketing y Comunicaciones, esta se enfoca de una manera proactiva en su operación, posicionando la imagen de CSET en la comunidad e industria a través de su nombre "Centro de Energía Solar", tratando de mantener una comunicación activa y permanente con la audiencia definida en el plan estratégico a través de las distintas plataformas, con un especial énfasis en los medios digitales. Esta estrategia se ejecuta de manera conjunta con el Centro de Biotecnología de Sistemas (CSB) de FCR, de manera de crear sinergias en las campañas comunicacionales y potenciar el alcance de ambos centros.

Las actividades realizadas en torno a Marketing y Comunicaciones son indicadas a continuación, separadas por temáticas:

Internet

- Página web institucional. Actualización continua de los contenidos de la web, y desarrollo de propuestas para mejorar el contenido con una visión estratégica de la audiencia objetivo. Idioma inglés y español.
- Redes Sociales de Fraunhofer Chile Research (LinkedIn, Twitter, Facebook e Instagram).
- E-mail / Newsletter de Fraunhofer Chile Research. Newsletter interno desarrollado en conjunto con CSB dirigido a todos los colaboradores de FCR, con el objetivo de mejorar la comunicación interna y vínculos de trabajo. Esta incluye, además del contenido relacionado con el proyecto CSET, temáticas desarrolladas por el equipo de Recursos Humanos de FCR, como por ejemplo temas de salud mental, autocuidado y mindfulness, salud ocupacional y seguridad, noticias, reconocimientos y premios, actividades sociales, deportivas y culturales de colaboradores, etcétera. Desde comienzos de la pandemia, CSET mantiene un registro interno sobre temas de salud y seguridad.
- Newsletter externo. A contar de marzo de 2021, FCR cuenta con un Newsletter externo que es administrado por las áreas de comunicaciones de ambos Centros FCR (CSB y CSET), el cual es enviado a la base de contactos de clientes, aliados y stakeholders, con noticias e informaciones. Este boletín tiene una periodicidad bimensual y es enviado mediante una plataforma de Email Marketing para mejorar la calidad de los envíos y resultados de entrega.



Fraunhofer
CHILE

Newsletter n° 1

Centro de Biotecnología de Sistemas
Centro de Tecnologías para la Energía Solar
Enero / Febrero 2021 - Publicación bimensual

Figura 8 - Portada Newsletter N°1 FCR, enero/febrero 2021

Publicidad

- Publicidad en medios tradicionales. Ediciones especiales vinculadas al rubro energético, publicaciones del Día de la Energía, diseminación de eventos internos y externos, entre otros.
- Contratación de espacios en medio especializados con contenido editorial. Por ejemplo, revistas “[Reporte Sostenible](#)”, “[Electricidad](#)” e “[Induambiente](#)”, así como también espacios en medios tradicionales.



Figura 9 - Banner edición especial "Chile, ¿Descarbonizado al 2025?", Reporte Sostenible, noviembre 2020.

Gestión de Medios

- Incorporación de temas en la Agenda Setting de medios nacionales e internacionales, potenciando la visibilidad de la imagen de CSET a través de contenidos preparados y de medios identificados de acuerdo con la audiencia objetivo.
- Actualización de contenido audiovisual para la difusión y posicionamiento del Centro. Por ejemplo, videos institucionales, set de imágenes corporativas y del equipo de trabajo, así como también el desarrollo de diseños para gráficos y piezas audiovisuales de los proyectos en ejecución, para recursos de difusión como Whitepapers, One-Pagers, el proyecto Diccionario Solar, videos de presentación, entre otros.
- Actualización de la base de datos de las compañías, clientes, instituciones públicas, socios y medios, quienes son definidos como público objetivo y socios estratégicos.
- Búsqueda de potenciales colaboraciones a largo plazo entre CSET y medios de comunicación nacional e internacional (sin costos).
- Definición de relatores y referentes de CSET en temas comunicacionales. En primer lugar, está Frank Dinter como Director del Centro, y en segundo lugar, Marco Vaccarezza, como líder de Desarrollo de Negocios y Director Alterno, quienes participarán en mayor medida de eventos y presentaciones.
- Creación de capacitaciones en temas mediáticos y comunicacionales, a través de talleres que potencien las capacidades al exponer las materias de estudio del Centro, usando herramientas que mejoren la gestión de los medios de parte del equipo CSET.

Agrivoltaico: Energía solar y agricultura en la misma superficie

David Jung llegó desde Alemania a la Fundación Fraunhofer en Chile a estudiar cómo implementar lo que se llama agrivoltaico en Chile: utilizar la misma superficie para producir alimentos y energía solar.

El concepto es que sobre un cultivo se instalan los paneles solares, los que no solo generan energía, sino que además protegerán a las plantas de lluvias, granizo e incluso el frío. La instalación se hace aplicando modelos matemáticos para que se permita el paso de luz solar adecuado.

"En Chile se usan las mallas sombreadoras para evitar el daño del sol en las frutas o plantas, pero que no poner un panel solar que además de generar electricidad, protege y dura hasta 25 años", enfatiza Jung, del Centro de Tecnologías para la Energía Solar (CSET) de Fraunhofer Chile Research.

Cuenta que la idea nació hace más de 40 años en Fraunhofer en Alemania y que ya se emplea en plantaciones de frutales menores, como frambuesas o arándanos, en los Países Bajos, donde se utilizan paneles semitransparentes para dar más luz al cultivo.

En Chile ya han instalado tres plantas piloto en horticultura en la Región Metropolitana. Allí investigan cómo se comporta el clima y los cultivos y también cómo se tiene que manejar el cultivo para el uso de maquinarias.

"En la fruticultura desde se ve el potencial mayor. Es un producto de alto valor, en el que se invierte más en protección. Hay se usan muchas coberturas plásticas. Estamos elaborando un estudio de potencial, analizando los cultivos más aptos para su colocación bajo paneles PV en Chile", cuenta el ingeniero alemán.

Los estudios en el país también analizan el uso de la tecnología en frutales mayores, como cerezas, por ejemplo. "Incluso existen técnicas



Los paneles son colocados a una altura y posición que permiten el paso necesario de luz solar al cultivo e incluso el uso de maquinarias.

que permiten producir pastos o heno, con paneles bifaciales que en lugar de instalarse sobre el cultivo se instalan en heladas y captan energía por ambos lados", explica.

Enfatiza que el impacto, además del económico, es el doble uso de la tierra: mejora la dis-

ponibilidad energética sin necesidad de utilizar nuevas tierras, que es una de las complicaciones para la instalación de paneles fotovoltaicos", dice Juan Manuel Urrutia, refrigerador a lo que han visto desde el Indap, donde de los 3.200 proyectos que han realizado desde el 2012, el 95% corresponde a fotovoltaicos.

Los elementos que la impulsan son varios. Primero, la calidad solar del país. "Chile tiene condiciones excelentes para la generación fotovoltaica", plantea David Jung, ingeniero del Centro de Energía Solar de la Fundación Fraunhofer Chile Research. Se refiere a que está disponible en cantidad y calidad a lo largo de todo el país.

Además, hoy en día el costo de esta tecnología ha bajado de manera importante, transformándose en la opción más eficiente, incluso ante otras alternativas renovables.

"Económicamente hace sentido,

capacidad instalada de neblining por sector

Sector	Porcentaje
Minería	52%
Industria	23%
Residencial	19%
Comercio	11%
Transporte	8%
Energía	4%
Telecomunicaciones	3%

Fuente: Ministerio de Energía. Departamento de Meteorología (EL MERCURIO)

Mónica Rodríguez, jefa de la división de Estudios, Desarrollo y Políticas de la CNR explica que han concretado 999 proyectos de riego con energía fotovoltaica, por unos \$27.000 millones y una beneficiación de más de 820.000 millones.

"No obstante, también estamos apoyando obras de riego con centrales micro hidroeléctricas con un total, a la fecha, de 16 proyectos (el primero de ellas desarrollado en 2013 y los otros 15 materializados entre 2016 y 2019) para una inversión total de obras de riego con la micro central de \$1.900 millones y una beneficiación de \$2.200 millones". El 80% del total corresponde a pequeña agricultura.

FOTOVOLTAICA, CORRE CON VENTAJA.

Si bien a nivel nacional están presentes prácticamente todas las formas de energías renovables —solar, eólica, geotérmica, viento, biomasa—, los expertos coinciden en que la fotovoltaica corre con ventajas, al menos en el agro.

"Hemos desarrollado distintos proyectos, por ejemplo, los que aprovechan el viento para el bombeo de agua, también hidroeléctricas, pero el auge son los sistemas fotovoltaicos", dice Juan Manuel Urrutia, refrigerador a lo que han visto desde el Indap, donde de los 3.200 proyectos que han realizado desde el 2012, el 95% corresponde a fotovoltaicos.

Los elementos que la impulsan son varios. Primero, la calidad solar del país. "Chile tiene condiciones excelentes para la generación fotovoltaica", plantea David Jung, ingeniero del Centro de Energía Solar de la Fundación Fraunhofer Chile Research. Se refiere a que está disponible en cantidad y calidad a lo largo de todo el país.

Además, hoy en día el costo de esta tecnología ha bajado de manera importante, transformándose en la opción más eficiente, incluso ante otras alternativas renovables.

"Económicamente hace sentido,

Figura 10 - Reportaje Agrivoltaico, Revista CAMPO, El Mercurio, febrero 2021



Figura 11 - Invitación Interna para colaboradores, Taller de Fotografía y Video, enero 2021

Protocolos y Relaciones Públicas

Creación de un manual institucional para colaboradores de CSET en instancias protocolares y ceremonias, para ser usado como guía en estas ocasiones y facilitar el desarrollo y logística de los eventos a organizar o participar. En esta se definen los estándares mínimos que tienen que ser alcanzados para mostrar una adecuada imagen institucional en cualquier actividad, desde la organización hasta la ejecución.

Estas instrucciones incorporan guías para formatos de invitaciones, cartas de agradecimiento y diploma de participación, así como lista de hoteles y centro de eventos, servicios de catering, listado de autoridades e invitados especiales a considerar, según la audiencia objetivo.

Marketing

- Mejora en la imagen corporativa a través del diseño de material publicitario digital. Actualización del catálogo digital (portafolio de servicios) de CSET con contactos (correo y profesional a cargo).
- Contratación de una plataforma de Email Marketing para mejorar la entrega y distribución masiva de correos de la marca FCR.
- Desarrollo de contenido audiovisual de los proyectos desarrollados y en desarrollo por parte de CSET.

- Organización de eventos que promuevan la visibilidad del Centro y contribuyan a la transferencia de conocimientos entre los asistentes.
- Participación en ferias y congresos con la imagen de FCR, manteniendo la visibilidad de la imagen de CSET.



Figura 12 - Video Promocional "Agricultura Urbana Solar", haga click en la imagen para ver el video

Responsabilidad Social Corporativa (RSC)

Este tema es de prioridad para la imagen de CSET, como vínculo entre el Centro y la audiencia objetivo, la comunidad y el ecosistema. Si bien enfocar el trabajo en la audiencia objetivo es la prioridad, para las organizaciones es importante vincularse con la comunidad general, de manera de ir más allá de solo sus líneas de negocio.

Para ello, CSET desarrolló el Diccionario Solar con el objetivo de fomentar el conocimiento en conceptos relacionados con la energía solar para un público menos técnico que el habitual. En este sentido, este recurso refuerza el posicionamiento y visibilidad que los investigadores del Centro pueden lograr con su trabajo, logrando acercarse más al público general a través de cápsulas informativas.

Para mayores detalles sobre el Diccionario Solar, siga el siguiente enlace para el video promocional: [Diccionario Solar](#)

Almacenamiento Energético



Concepto que comprende los métodos para conservar una cierta cantidad de energía, para ser usada con posterioridad, reinyectándola en las redes eléctricas, o derivándola hacia otros usos. Es un concepto muy relevante en energías renovables, pues al ser éstas esencialmente variables, la producción de energía no necesariamente coincidirá con la demanda de energía, constituyendo entonces la posibilidad de compensar este diferencial y ajustar oferta con la demanda de energía.

Los métodos de almacenamiento van desde uso de baterías, almacenamiento hidráulico, almacenamiento térmico (mediante sales fundidas u otro medio) hasta tecnologías como generación de hidrógeno u otros.

Diccionario Solar

Un aporte del Centro de Tecnologías para la Energía Solar
 **Fraunhofer**
CHILE

Concentración Solar de Potencia



Utilizando los rayos provenientes del sol y dirigiéndolos por medio de espejos, se pueden concentrar lo suficiente para calentar un fluido a medias y altas temperaturas (200°C - 1000°C). Los espejos pueden ser en forma de parábola, calentando un tubo en su foco o ser planos y dirigir los rayos a un punto encima de una torre. Por medio del calor se puede producir vapor, lo cual alimenta un ciclo de turbinas de vapor, que a su vez, generan electricidad de la misma manera que otras plantas convencionales lo han hecho durante años. En este tipo de plantas, sólo se cambia el combustible fósil (carbón/diésel/gas) por uno limpio, seguro y renovable.

Diccionario Solar

Un aporte del Centro de Tecnologías para la Energía Solar
 **Fraunhofer**
CHILE

Figura 13 – Ejemplos de cápsulas informativas, Diccionario Solar

2.5. Resultados Principales

De acuerdo con los compromisos derivados del Hito Crítico levantado por CORFO en el año 2018, CSET ha hecho grandes cambios estratégicos, con el fin de potenciar su posicionamiento dentro del sector industrial, así como también dentro del mundo tecnológico entorno a la energía solar en Chile y Latinoamérica.

Estos cambios potenciaron significativamente la gestión y el foco de CSET a través de las tres juntas asesoras (Steering Committee, Scientific Advisory Board e Industrial Advisory Board), haciendo más efectiva la comunicación y asegurando que las decisiones estratégicas del Centro sean de acuerdo con las necesidades de la industria y la academia. Los diferentes consejeros parte de estas juntas asesoras han jugado un rol clave en actualizar a CSET de lo que está pasando tanto en la industria local y la vanguardia tecnológica, así como también en las necesidades del mercado global.

La última sesión del Scientific Advisory Board fue realizada el 23 de octubre de 2020, donde las conclusiones servirán de guía para los siguientes años del Centro. Durante esta reunión, la junta fue informada sobre el contexto nacional, tanto relativo a la situación sanitaria como a la crisis social que vio sus inicios en octubre de 2019, y en cómo este contexto afectó el trabajo de CSET, teniendo que adaptar la operación a una modalidad de teletrabajo y restringiendo las salidas a terreno. A pesar de las dificultades del trabajo en los últimos dos años de operación, la junta valora la trayectoria del Centro al traer al contexto nacional tecnología y conocimiento desde Alemania y, adicionalmente, adaptándolos a la realidad local. Hace seis años, cuando el Centro partía sus operaciones acá en el país, la industria local no se encontraba suficientemente madura para la entrada al mercado de las tecnologías de punta; sin embargo, a medida que han pasado los años, la industria ha cambiado la dirección hacia una cultura más sustentable, haciendo posible la transferencia de tecnologías en temas de energía renovable, acelerando así también la modernización de la tecnología en el rubro solar, donde CSET ha sido parte.

Otra conclusión importante de la última sesión del SAB fue la importancia del financiamiento que sustenta la operación de CSET. La implementación de estrategias y planes de I+D dependen en gran medida de este tipo de financiamiento, incluso el modelo de sostenibilidad de Fraunhofer-Gesellschaft en Alemania contempla un tercio de financiamiento a través de un subsidio basal público. Este financiamiento base permite el desarrollo de conocimiento y tecnologías “in-house” en primera instancia, para así validar la solución y salir al mercado, bien para conectar con clientes, o bien para buscar otros mecanismos de financiamiento para continuar la investigación. CSET es claramente una organización que ayuda a la Transferencia Tecnológica en el país.

Por otro lado, es igual de importante contar con financiamiento privado. Ambas fuentes de financiamiento son cruciales a la hora de llevar la investigación a una I+D aplicada. Desde la nueva estrategia derivada del Hito Crítico levantado por CORFO, la conexión con la industria

ha mejorado de forma considerable, especialmente el año 2020.

El incremento de alianzas nacionales, tanto con la Academia como con privados, han dado a CSET una fuerte posición como institución abocada a la I+D aplicada. CSET, a través de su compromiso de potenciar la transición energética nacional y el desarrollo e implementación de tecnologías solares para una matriz limpia y renovable, es socio fundador de la Asociación de Concentración Solar de Potencia ([ACSP](#)). Actualmente, el Director del Centro, Frank Dinter, es miembro de la junta directiva de ACSP. Dentro de las compañías asociadas se encuentran Cerro Dominador, SQM, Acciona, entre otros.

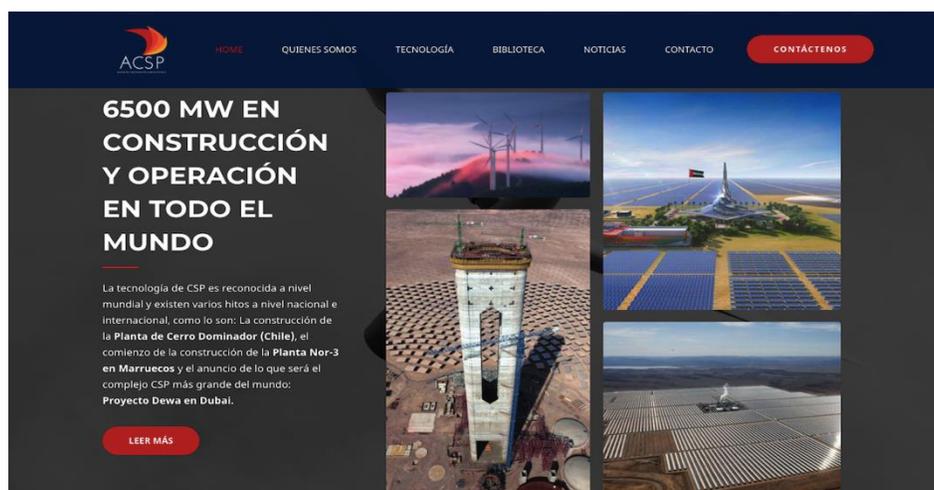


Figura 14 - Página web ACSP

Medios y Redes Sociales

Como parte de la estrategia para mejorar el posicionamiento del Centro, se ha creado un plan de Marketing y Comunicaciones, con el fin de crear y difundir contenido entre los stakeholders alrededor de CSET. Dentro de las primeras acciones derivadas de la nueva estrategia de Marketing fue la contratación de una periodista especializada, con el fin de guiar al equipo hacia una mayor visualización y presencia en los medios, haciendo de CSET un centro de referencia en términos de tecnologías de energía solar en Chile.

Con el fin de llevar la información a toda la comunidad, se creó el Diccionario Solar, el cual fue compartido de manera exitosa a través de Redes Sociales, despertando la curiosidad de los lectores. Además, el Centro creó distintos videos promocionales los cuales fueron diseñados y difundidos para las Redes Sociales. Estos videos describían los proyectos emblemáticos realizados por CSET, presentados por los propios investigadores partícipes de los proyectos. Ambas iniciativas fueron valoradas por los seguidores de Fraunhofer en los medios, aumentando las interacciones entre audiencia y CSET, además de mayor cantidad de artículos compartidos en las redes. Esto reforzó la idea de potenciar aún más el posicionamiento de CSET en estos medios, con un énfasis en los contenidos audiovisuales.

La red social con mayor crecimiento este último período fue LinkedIn, lo cual se adapta al

perfil científico-tecnológico de CSET, donde FCR tiene a la fecha más de 10.000 seguidores, e incrementando día tras día. Para graficar aún más el crecimiento en esta red, se muestra la siguiente tabla con el crecimiento desde enero de 2019 a diciembre de 2020. (Para más información, consultar Anexo 2, “Reporte RRSS”)

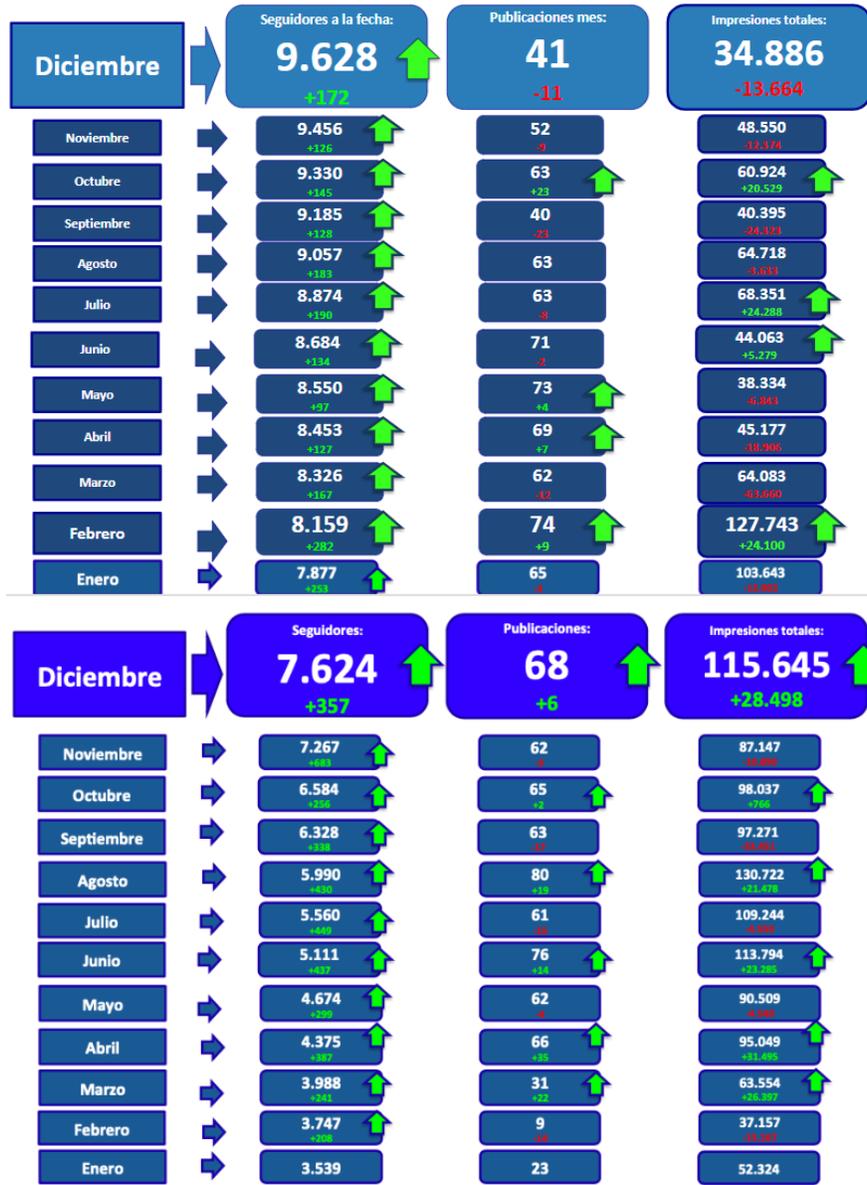


Figura 15 - Crecimiento LinkedIn, enero 2019 (abajo) - diciembre 2020 (arriba)

Cobertura Mediática y Actividades Promocionales

CSET ha tenido una predominante presencia en los medios como centro de referencia en temas de energía solar durante este período. Durante el último año en particular, los temas de Hidrógeno Verde y la descarbonización fueron las temáticas más demandadas, creando así una excelente oportunidad para establecer nuevos vínculos con la industria y el sector

público.

Esto ha ido de la mano con el incremento en los contratos con el sector privado del último año, así como en las vinculaciones y alianzas estratégicas. Una de estas vinculaciones que más alcance mediático ha tenido es la con [Viña Concha y Toro](#), incluso levantando interés de parte del Ministerio de Energía. Otra nota por mencionar es la conversación entre Marco Vaccarezza, líder del equipo de Business Development, con Claudio Seebach, Director Ejecutivo de Generadores de Chile, [diálogo entorno al Hidrógeno Verde](#), a través de la plataforma de Emol. (Para más información, consultar Anexo 3, “Cobertura Mediática”)

Además, cabe mencionar las siguientes iniciativas, de un carácter más técnico:

- Participación en el Webinar sobre Hidrógeno Verde organizado por la Cámara Minera de Chile en junio de 2020. Se realizó una presentación sobre el potencial del Hidrógeno Verde en la minería chilena.
- Participación en el evento CovidMin 2020, organizado virtualmente, dedicado a la minería, en el que se trataron diversos temas, entre ellos la sostenibilidad. Participación en rondas de encuentros, además de a través de un stand virtual.
- Participación y coorganización del Seminario sobre Energías Renovables en la Agroindustria, en el marco de la alianza con Viña Concha y Toro. Presentación sobre Energía Solar y Potencial de Innovación en Energías Renovables en la Agroindustria y la Agricultura.
- CSET participa en varias entrevistas, en medios escritos y online, en relación a la explicación y difusión del potencial del Hidrógeno Verde en Chile.
- El Director de la Unidad de Negocio de Hidrógeno de Fraunhofer ISE, Dr. Christopher Hebling, realiza una presentación sobre el Hidrógeno Verde en uno de los eventos de la Misión Cavendish, organizada por el Club de Innovación.
- Se realizan múltiples reuniones bilaterales con empresas nacionales e internacionales para explorar oportunidades de negocio para CSET en todas sus áreas de actuación, tanto solar PV como solar térmica. El potencial del Hidrógeno Verde en Chile ha despertado especial interés.
- Participación como patrocinadores en Fidelmov, evento entorno a la temática de la electromovilidad, realizado 28 y 29 de octubre de 2020. CSET participó con un stand virtual, participó de un panel en la temática, y gestionó una charla de Fraunhofer IVI.
- Participación con un stand virtual en el Green Hydrogen Summit, 3 a 4 de noviembre de 2020.

(Para más información, consultar Anexo 4, “Actividades Promocionales”)

3. Líneas de Investigación

CSET es un centro de investigación interdisciplinario, distinguiéndose de otras instituciones de I+D al poseer, además, un rol articulador entre sus socios, al coordinar otras unidades de I+D para conseguir mejores resultados en el tiempo. El trabajo de CSET no es independiente en la práctica, sino que cumple un objetivo de complementar a sus socios, a saber, la Universidad Católica (UC) por un lado, y el Fraunhofer ISE por otro. Esto brinda la ventaja de poder abordar una gama de temas mucho más amplia que la que podría manejar como unidad aislada.

Como es mencionado en secciones anteriores, el Centro se compone de dos equipos o Líneas de Investigación. Ambos equipos pueden ser muy diferentes en el papel, ya que mientras en la energía fotovoltaica trabajan principalmente ingenieros eléctricos y electrónicos, en los sistemas solares térmicos predominan los ingenieros mecánicos o de procesos industriales. No obstante, los grupos de investigación poseen actividades conjuntas, donde cooperan en distintos proyectos multidisciplinarios. Hay temas transversales relevantes para ambas líneas tecnológicas, donde cabe mencionar:

- Investigación de los efectos medioambientales de los combustibles fósiles
- Uso de Big Data para el análisis técnico (experimental, simulación)
- Monitorización de procesos, dispositivos y/o equipos
- Clasificación geográfica, servicios y análisis del recurso solar
- Estudios de hidrógeno verde: La energía solar como principal proveedor
- Tecnologías de tratamiento de aguas para aplicaciones industriales
- Análisis de información de mercado del ecosistema energético chileno
- Modelamiento de la red eléctrica y análisis de los sistemas energéticos

Si las competencias profesionales estuvieran alojadas en cada Línea de Investigación por separado, sería contraproducente duplicarlas para estos proyectos que son definidos como transversales, por lo que se fomenta la coordinación y las actividades transversales. En muchos casos, el trabajo de los investigadores de UC también puede calificarse de transversal y se acopla a estas actividades. Esto asegura, por ejemplo, que los investigadores de UC que no tienen su principal foco de investigación en temas de energía solar (ciencia de los materiales, química, geología, economía, sistemas eléctricos, entre otros), también colaboren con el Centro, aportando desde la multidisciplinariedad a los proyectos y aprendiendo a la vez sobre las tecnologías de energía solar y sus aplicaciones.

Uno de los objetivos principales de CSET es el desarrollo e ingeniería de aplicaciones de tecnología innovadora, así como también la gestión e instalación de plantas piloto o plantas demostrativas, y el análisis de mercados locales y regionales. El Centro continuará contribuyendo a los programas públicos y la creación de nuevas políticas públicas, entregando recomendaciones de acuerdo con la evolución tecnológica y el contexto nacional e internacional, entregando estudios del Estado del Arte de tecnologías solares, participando de grupos de trabajo y, por último, aportando al brindar servicios específicos

y estratégicos.

3.1. RL1 – Sistemas Fotovoltaicos

Descripción y Objetivos

El diseño de sistemas y componentes PV ha sido usado alrededor del mundo en numerosas instalaciones. Con una capacidad global instalada de más de 580 GW (a abril de 2020), la madurez de la tecnología es alta y las mejoras de desempeño que pueden ser alcanzadas a través de nuevos procesos en los módulos convencionales basados en Silicio son usualmente menores. Por el contrario, en Chile, debido a los desafíos climáticos y las condiciones desérticas del norte del país, existe una potencial mejora en el desempeño de la operación y mantenimiento de las plantas PV (ensuciamiento, duración de componentes en condiciones extremas).

En las centrales eléctricas PV, el incentivo de disminuir el costo de la inversión impacta en la selección de componentes, resultando en una baja de la eficiencia en el largo plazo de la planta. Este representará un problema cada vez mayor para el mercado energético nacional, debido a la conexión de los sistemas Interconectado Central e Interconectado del Norte Grande, resultando en una conexión de Arica a Chiloé, inaugurada a fines del año 2017. Pequeñas mejoras en la operación y la calidad de las plantas serán relevantes para el análisis financiero de los potenciales proyectos. Es por ello que, procedimientos de evaluación de calidad, testeos de durabilidad, y el desarrollo de un etiquetado de productos y componentes aptos para el clima desérticos nacional, son importantes focos de desarrollo tanto para el mercado como para los servicios de I+D.

La radiación solar en ciertas zonas de Chile representa un contexto en extremo favorable para la implementación de conceptos innovadores de sistemas PV, tanto “on” como “off-grid”. Ejemplos de ello es el bombeo de agua, la desalación de agua con sistemas PV-Osmosis Inversa, sistemas descentralizados de recarga de baterías o vehículos agrícolas, entre otros, que pueden llegar a ser aplicaciones futuras de tecnologías como extensión de los usos de la energía solar.

El objetivo de esta Línea de Investigación (RL1) es el de apoyar y potenciar la implementación económica de tecnologías PV que permitan el incremento sustancial de la participación de energías renovables en la matriz energética nacional. En particular, los objetivos específicos definidos son:

- Investigar la viabilidad económica del desarrollo de una tecnología industrial de baterías de litio en Chile.
- Asistir el desarrollo y la operación de plantas PV con la evaluación de calidad en el rendimiento y la durabilidad, optimizando las estrategias operativas.
- Desarrollar nuevos diseños y soluciones de sistemas basados en el concepto Agrovoltaico bajo un enfoque multidisciplinario.

- Investigar la viabilidad de aplicaciones PV innovadoras en configuraciones fuera de la red o conectadas a ella (e.g., producción de Hidrógeno Verde, osmosis inversa y bombeo de agua, sistemas optimizados para el autoconsumo, entre otras).

El trabajo dentro de esta RL es organizado en dos proyectos principales, de los cuales se desprenden ciertos Work Packages (WP, o paquetes de trabajo):

- Proyecto 1.1 Diseño y Optimización de Sistemas PV
 - WP1 Optimización de Sistemas PV para Aplicaciones Específicas
 - WP2 Concepto Agrovoltaico
 - WP3 Almacenamiento Electroquímico
- Proyecto 1.2 Evaluación de Calidad PV en Ambiente Desértico
 - WP1 Mediciones de Campo de Alta Precisión en Condiciones Desérticas
 - WP2 Investigación y Mitigación de Efectos Medioambientales
 - WP3 Desarrollo de Procedimientos de Testeo Adaptado y Etiquetado

Modelo de Negocios

Dentro del Proyecto 1.1 “Diseño y Optimización de Sistemas PV”, el Centro se encuentra investigando y desarrollando conceptos de sistemas innovadores, los cuales no han sido aún adaptados por el mercado al contexto nacional, y donde los estudios de factibilidad identifican oportunidades de ahondar en dichos conceptos. Dos de estos sistemas innovadores claves son el concepto Agrovoltaico y el Flotante PV, los cuales han sido analizados durante la operación de CSET. Para estos conceptos, si los estudios preliminares muestran un potencial de mercado para Chile, el Centro identificará potenciales socios y clientes con quienes comercializar los conceptos. A pesar de que CSET no estima que el alcance de la innovación sea suficientemente grande para crear Propiedad Intelectual, el know-how en sistemas y componentes fue suficiente para adjudicarse contratos de I+D con la industria y el sector público para el desarrollo de prototipos y optimizaciones de sistemas asociados a estos conceptos, los cuales sí requieren de un proceso de investigación y desarrollo para la adaptación del concepto a las distintas realidades del país.

En este proyecto, una tecnología ha sido identificada e investigada, el concepto ya mencionado, Agrovoltaico, el cual permite la adaptación local de una tecnología PV optimizada para aplicaciones agrícolas. Existe aún un gran potencial para desarrollar localmente tecnologías y herramientas para la planificación y diseño de proyectos para este campo interdisciplinario. Chile tiene un rubro agrícola de gran escala, siendo un exportador destacado a nivel mundial en distintos cultivos, por lo mismo, tiene un gran potencial de mercado para tecnología adaptada y optimizada al contexto nacional. Lo anterior, sumado al hecho de poseer una radiación solar excelente en el norte del país, e incluso muy buena en la Zona Centro y Centro-Sur, hace de este concepto un sistema con gran potencial. Habiendo concluido de buena manera el desarrollo de esta Fase II, el potencial de mayor expansión de esta tecnología hará que esta temática se siga desarrollando en el futuro por CSET, donde el Centro no se cierra a la posibilidad de generar un spin-off relacionado al

proyecto.

Por otro lado, durante el transcurso de la etapa, se prospectó con otras tecnologías además de la señalada. En un comienzo, se vio la oportunidad de una transferencia tecnológica desde Fraunhofer ISE, donde se podría transferir a Chile una tecnología para celdas de baterías de Litio. Además, otra tecnología para baterías, en este caso de tipo flujo RedOx, también ha sido desarrollada por ISE y significó otra potencial tecnología para el Centro. Estas tecnologías se enmarcan en el paquete de trabajo WP3 “Almacenamiento Electroquímico”. Para este tipo de tecnologías, el modelo de negocios es, primero que todo, la investigación de mercado, de manera de identificar las oportunidades de CSET y los potenciales clientes o asociados con quienes buscar contratos de I+D.

Para el proyecto 1.2 “Evaluación de Calidad PV en Ambiente Desértico”, CSET ahondó en la comprensión y en los procedimientos de testeo relacionados con el contexto desértico del norte del país. Esta área de trabajo fue apoyada durante la Fase II por el proyecto de I+D tecnológico ATAMOSTEC, en el desarrollo de módulos PV para el desierto, los cuales pueden ser fabricados nacionalmente. Para lo anterior, un centro de testeo de buen nivel fue creado, el cual proveyó de infraestructura y servicios de testeo de primera calidad a la industria. Para este caso, la idea de negocio es el desarrollo y venta de servicios avanzados para los requerimientos presentes y futuros del mercado chileno. En el marco del proyecto ATAMOSTEC, el Centro ofrece a los distintos socios estratégicos e industriales sus capacidades para probar las tecnologías de módulos PV, además de catalogar y certificar un estándar de segundas vidas para módulos PV.

También dentro de este proyecto 1.2, la investigación en el impacto de las condiciones ambientales en el desempeño de las plantas PV (tanto nuevas como preexistentes), será usada para optimizar las operaciones de ellas. En esa misma línea, metodologías y programación de limpiezas, y el tratamiento de agua *in situ*, pueden ser usados para mitigar los efectos negativos del ensuciamiento. Por otro lado, mediciones avanzadas del recurso solar, incluyendo simulaciones de irradiancia reflectada, ayudan a las plantas generadoras con módulos Bifaciales a estimar su producción energética futura. Derivada de todas estas temáticas de investigación y desarrollo, la adaptación de tecnologías, así como la optimización de la operación, son productos que son vendidos a operadores de plantas generadoras de gran escala.

3.1.1. Diseño y Optimización de Sistemas PV

Tanto las centrales eléctricas PV de gran escala como las plantas PV distribuidas y conectadas a la red no poseen más desafíos específicos en el ámbito de las actividades de I+D de CSET. Sin embargo, el Centro sí estima que es necesaria una mayor adaptación y desarrollo de aplicaciones específicas en las que las plantas generadoras puedan proporcionar una fuente de energía eléctrica para las demandas locales. En estos casos, el objetivo principal no es inyectar energía a la red de distribución ni la de transporte, sino cubrir las demandas locales minimizando la interacción con la red. Incluso se considera el funcionamiento *off-grid*, pensando en zonas agrícolas alejadas de las redes existentes o con una conexión de red débil.

Por otra parte, durante la duración de la fase, se realizaron evaluaciones de nuevas tecnologías fotovoltaicas (por ejemplo, los módulos bifaciales), estableciendo un punto de referencia basado en el rendimiento y la economía para diferentes ubicaciones y condiciones ambientales. La optimización de los procedimientos de operación y mantenimiento es atingente a todas las aplicaciones fotovoltaicas, pero depende en gran medida de la ubicación y el tamaño de la planta.

WP 1. Optimización de Sistemas PV para Aplicaciones Específicas

CSET ha estado trabajando activamente con proveedores de tecnología PV con el fin de entender mejor el mercado nacional y orientarlo a un camino hacia menores LCOE. En concreto, se han traído módulos PV monocristalinos tipo PERC, tanto monofaciales como bifaciales, con el fin de estudiar el impacto del contexto nacional en el rendimiento de las diferentes tecnologías. Paralelamente, se investigaron las características de los diferentes suelos que se encuentran en Chile y su capacidad de reflejar la luz solar a nivel espectral. Esto último debido a que no es útil tener un suelo que refleje solo una parte del espectro que no sirve a los módulos fotovoltaicos. Esto es de vital importancia ya que al utilizar módulos bifaciales se puede generar hasta un 20% más de energía, pero esto depende del tipo de suelo y su capacidad asociada de reflejar la luz solar. Este aumento del 20% en la generación tiene un impacto directo en el LCOE y en la rentabilidad del proyecto.

En el marco del proyecto Bienes Públicos “Corredor Solar de la Cuenca del Salado”, CSET contribuyó al desarrollo de proyectos de generación distribuida PV en Chile a través del conocimiento de costos, beneficios, impactos, medidas de mitigación y metodologías de análisis, en el contexto de una falta de experiencia científico-tecnológica en la materia, y a la posible existencia de un marco regulatorio inadecuado. Este proyecto tuvo como objetivo identificar mecanismos para desarrollar un modelo de “ciudad solar” replicable para potenciar la generación solar distribuida en Chile. El modelo se construyó sobre la base de estudios que integran las dimensiones técnica, económica y social.

En la misma línea, CSET también trabajó en un proyecto que vincula la agricultura y la energía solar: Agricultura Urbana Solar. El objetivo de este proyecto fue implementar un mínimo de 3 granjas urbanas a escala piloto, para demostrar la viabilidad del concepto en comunas urbanas de la Región Metropolitana. Para la realización de los pilotos, se eligieron las comunas de Macul, Quinta Normal y Santiago como beneficiarias directas. Fraunhofer fue el ejecutor de este proyecto, donde ambos centros

de FCR (CSET y CSB) participaron en su ejecución y contaron con convenios y/o socios como: Ciencia Pura, para el desarrollo de los sistemas de iluminación, climatización y contenedores; Centro de Innovación de la Madera de la UC (CIM) que desarrolló el estudio jurídico y el diseño arquitectónico de los pilotos; DUOC-UC que apoyó el sistema de control, medición y monitoreo remoto, además del sistema hidropónico; Punto Solar, quien instaló los sistemas PV; y el Departamento de Agronomía de la UC, asesorando en temas de cultivo. El proyecto levantó una línea base, estudios del estado del arte en tecnologías de granjas urbanas, sistemas de cultivo, desarrollo de modelos de negocio, entre otros.

Debido al bajo costo de la tecnología PV la integración de la energía solar es ahora posible fuera de la escala de la industria de Servicios Públicos, donde las necesidades de espacios para plantas solares son cada vez mayores. En este contexto, CSET ganó un proyecto FIC-R Metropolitano (del año 2019, firmado a fines de la Fase II y próximo a partir su desarrollo) para resolver el acceso a la energía eléctrica en las zonas rurales evitando conflictos en el uso de la tierra agrícola y protegiendo los recursos hídricos. Este proyecto consiste en probar en las condiciones climáticas, ambientales y económicas de la Región Metropolitana, el novedoso concepto "Flotante PV", que consiste en la instalación de sistemas fotovoltaicos en cuerpos de agua artificiales (embalses de riego, estanques de relaves, embalses de acumulación en general). Este concepto permite el doble uso de las superficies disponibles para la generación de energía, cerca de los puntos de consumo importantes, sin competir por el uso del suelo, con el beneficio adicional de evitar la evaporación del agua y así proteger el recurso hídrico. La propuesta se basa en un diagnóstico y contempla la realización de un piloto técnico-comercial y luego un plan de seguimiento, basado en un modelo de negocio replicable. El concepto de Flotante PV es una línea de investigación del Fraunhofer ISE al igual que el concepto Agrovoltaico y *Building Integration*.

Por último, CSET sigue trabajando con la Torre Experimental Peñuelas, una de las torres de madera más altas de Chile y de América Latina, con casi 20 metros de altura y seis pisos. La Torre ha sido desarrollada por el Centro de Innovación en Madera UC-CORMA junto con el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU) y en colaboración con la Corporación Nacional Forestal (CONAF), y la Municipalidad de Valparaíso. El objetivo de la Torre es ensayar el desarrollo de un sistema innovador de "muros envolventes" para edificios de viviendas en madera de mediana altura, con atributos de eficiencia energética y sostenibilidad certificada, para responder al desafío de reducir el consumo energético y disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) durante la construcción y vida útil de los edificios.

Para el desarrollo de este WP, CSET recibió la colaboración de Fraunhofer ISE a través de las siguientes contribuciones:

- "Development, Analysis, and Simulation of Lamination Processes for Photovoltaic Modules", Cristoph Herzog, tesis de estudiante de doctorado.
- "Thermomechanical Design Rules for the Development of Photovoltaic Modules", Andreas Beinert, tesis de estudiante de doctorado.
- "Model-based Analysis and Optimization of Networked Systems in a PV Factory Focused on Energy and Resource Efficiency", Peter-Henri Brailovsky, tesis de estudiante de doctorado.

Además del apoyo anterior, CSET obtuvo la colaboración de Björn Müller, PhD, del instituto Fraunhofer ISI (Institute for Systems and Innovation Research) con sede en Karlsruhe, Alemania, gestionando la cooperación en la optimización de plantas PV y la evaluación de la calidad, la transferencia de conocimientos, la evaluación de oportunidades en Chile y las potenciales aplicaciones conjuntas.

Adicionalmente, en colaboración con la UC y a través del investigador Rodrigo Escobar, se han estudiado los siguientes temas

- Planificación y diseño preliminar de dos pilotos de colectores
- Instalación y puesta en marcha de bancos de pruebas y pilotos
- Adquirir datos, operar y mantener los bancos de pruebas y los pilotos
- Análisis de los datos recogidos en condiciones normales del desierto

Actividades y Resultados

Para el proyecto de Bienes Públicos, “Corredor Solar de la Cuenca del Salado”, el trabajo concluyó de forma satisfactoria, donde CSET trabajó en conjunto con las diferentes comunidades de la zona para fomentar la adopción de estas nuevas tecnologías y procedimientos. El resultado del proyecto fue el desarrollo de un piloto en la ciudad de Diego de Almagro. En cuanto al concepto Flotante PV, CSET se ha adjudicado el FIC-R Metropolitano, concurso del año 2019, el cual está próximo a partir su desarrollo.

Para el caso de la Torre Experimental de Peñuelas, esta cuenta con un sistema PV que fue instalado en el primer trimestre de 2019 con los siguientes componentes y características:

- Módulo Fotovoltaico Bifacial LR6 - BP - 300, marca LONGI Solar
- Tecnología PERC bifacial
- Buen rendimiento de la cara frontal
- Alta eficiencia en la conversión del módulo (hasta 18,7%)
- Excelente rendimiento de baja radiación y coeficiente de temperatura
- Degradación de la energía en el primer año <2%
- Tecnología Bifacial con captación de energía adicional en la cara posterior (hasta un 25%)
- Laminado de vidrio con degradación energética anual <0,45%, compatible con 1500V para reducir el coste del Balance del Sistema (BOS)
- Diseño de marco de 40 mm, alta resistencia mecánica



Figura 16 - Módulo PV bifacial instalado en Torre Peñuelas

El sistema fotovoltaico tiene dos configuraciones:

- Horizontal, que consta de 10 módulos de dos strings y Vertical, que consta de 5 módulos y un string
- Inversor Fronius Smax 5000 VA

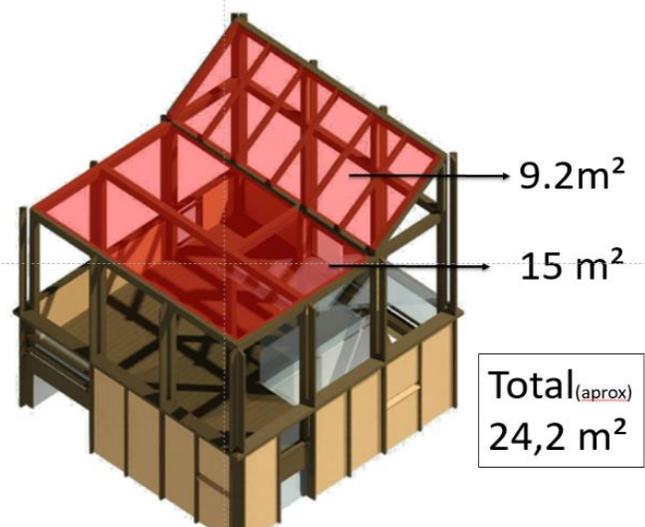


Figura 17 - Configuración de módulos PV



Figura 18- Inversor Fronius instalado en Torre Peñuelas

Sistema de Equipos de Medición (Adquisición de datos)

El objetivo planteado por CSET fue la implementación de un sistema de monitoreo agregado al sistema instalado (10 módulos Bifaciales horizontales y 5 inclinados). Para evaluar el rendimiento del sistema considerando variables como la radiación en el plano del arreglo (POA) delantero y trasero, así como la temperatura del módulo, fue necesaria la adquisición de los siguientes equipos

- Celdas de referencia, 4 sensores para ambos lados del módulo
- Sensores de temperatura y viento
- Sensores de caja

Dado que ya se ha instalado un inversor Fronius, los dispositivos de medida son de la misma marca, lo que permite un registro de datos sincronizado y centralizado a través de la web del fabricante. Para la instalación de los sensores fue necesario incluir las cajas de sensores.

Posterior a la adquisición de los equipos, se procedió a la instalación del sistema de medición en el sexto piso "El Mirador" de la torre a través de tres visitas a terreno del equipo CSET, incluyendo los siguientes

equipos e instrumentos:

- 2 Celdas de referencia traseras
- 1 Anemómetro
- 2 Sensores de temperatura en módulos PV bifaciales
- 1 Sensor de temperatura ambiental
- Canalizaciones eléctricas y conductores (eléctricos y de comunicación)
- Tableros Eléctricos para los sensor BOX.
- Anclajes, otros



Figura 19 - Celdas de Referencia traseras



Figura 20 - Anemómetro



Figura 21 - 2 Sensores de temperatura en módulos PV bifaciales



Figura 22 - 2 Sensores de temperatura ambiental



Figura 23 - Canalizaciones eléctricas



Figura 24 - Tablero eléctrico para los sensores BOX

Lamentablemente, hoy el sistema PV aún no puede entrar en operación debido a que CIM UC-CORMA sigue gestionando la autorización del Certificado TE4 con la Superintendencia de Electricidad y Combustible (SEC) a través de la empresa Ingeniería CGS.A. Este certificado permite inyectar la energía generada a la matriz por medio de esta generación fotovoltaica integrada a la torre. Se espera concluir este trámite y obtener el permiso durante el primer semestre de 2021, donde al momento de realizar este informe, los insumos necesarios para tramitar el certificado están siendo subidos a la plataforma de la SEC por el equipo de CIM UC-CORMA. De manera de partir cuanto antes, el equipo CSET ha dejado

todo instalado y listo para entrar en operación una vez solucionado el tema con la SEC.

En cuanto al trabajo conjunto con la UC, se han realizado las siguientes actividades, cuatro de ellas en las facilidades del co-ejecutor UC, específicamente en su Laboratorio de Energía Solar de Santiago (LESS) en el techo de su Edificio de Ciencia y Tecnología:

- Diseño y planificación de dos sistemas piloto de colectores C-PVT Solarus en San Pedro de Atacama
- Instalación y puesta en marcha el sistema de prueba C-PVT Solarus en el LESS
- Instalación y puesta en marcha bancos de prueba de módulos MWT en el LESS
- Instalación y puesta en marcha dos sistemas piloto de prueba de módulos MWT en condiciones normales de desierto y desierto costero
- Instalación y puesta en marcha de bancos de prueba de módulos HJ Bifaciales en el LESS

Se concluyó el diseño y la planificación de la instalación de los colectores Solarus, pero un colector enviado por Solarus presentó daños prematuros en la capa selectiva del colector térmico y en los plásticos de la entrada hidráulica. Aunque no se trata de daños en componentes por presión o esfuerzos mecánicos, sí plantea dudas sobre el rendimiento y la fiabilidad que puedan tener en condiciones de mayor radiación. Dado que los colectores no llegaron para esta actividad, se decidió reiterar el presupuesto y los colectores Solarus sólo se probarán en el Laboratorio de Energía Solar de Santiago (LESS).

Las actividades relacionadas con los sistemas instalados que se están llevando a cabo ahora son la adquisición de datos, la operación y el mantenimiento de los sistemas, incluso con el sistema ubicado en la Región de Atacama. Lamentablemente, en el caso de los sistemas instalados en el campus de la UC, la situación de pandemia y las medidas de mitigación adoptadas por la universidad para enfrentarla han dificultado la asistencia del equipo de la UC a los laboratorios donde se desarrollan los proyectos.

A modo de resumen, los logros más relevantes alcanzados por este proyecto de trabajo en conjunto con el co-ejecutor UC, dentro de la Fase II, son los siguientes:

- Instalación de un sistema compuesto por cuatro colectores C-PVT Solarus en LESS. La instalación es utilizada para caracterizar la tecnología en condiciones urbanas en Santiago e identificar las necesidades de mejora.
- Creación de un código que modele el funcionamiento de un módulo PV y su implementación en el estudio, control y previsión de funcionamiento de los módulos MWT en el LESS y en el Desierto de Atacama.
- Instalación del sistema PV de referencia en el LESS. Este sistema considera diferentes tecnologías PV, tanto experimentales como comercialmente consolidadas, en un entorno controlado y con adquisición automática de datos.
- Instalación del piloto de los módulos MWT en la planta de El Romero, situada en el Desierto de Atacama, para el estudio del comportamiento de la tecnología en condiciones cercanas a la realidad y la utilidad de una capa antisuciedad.
- Montaje de módulos de prueba Bifacial en dos configuraciones diferentes: vertical con caras orientadas al este-oeste e inclinada orientada al norte en el LESS. Las instalaciones son utilizadas para caracterizar la tecnología en condiciones urbanas en Santiago y realizar diferentes tipos de pruebas para optimizar el rendimiento de las plantas comerciales.
- Se generó conocimiento dentro del equipo solar de UC, en el diseño e instalación de nuevas

tecnologías fotovoltaicas.

Actividades para la Fase III

Durante la Fase III, y una vez puesto en operación el sistema PV de la Torre Peñuelas, se procederá al proceso de adquisición y análisis de datos, de manera de obtener conclusiones del desempeño de los sistemas integrados a la torre de madera:

- Adquisición de datos: A través de la página web de Fronius se accederá a los datos del inversor Fronius Primo 5.0-1. Adicionalmente, se obtendrán los datos de los equipos ya instalados y durante su ejecución se determinarán los datos que se suministrarán al CIM UC-COMAR y a LONGI Solar. Tentativamente estos serán los datos suministrados a nivel del sistema fotovoltaico: Pmax, ganancia Pmax, Voc, Isc, Vmp, Imp, DNI, GHI, curva I-V, temperatura ambiente, temperatura del módulo, y viento.
- Operación y mantenimiento: Para el mantenimiento de los sensores y la verificación del funcionamiento del sistema, se realizará con una frecuencia de 2 meses.
- Análisis de datos, conclusiones y generación de caso de estudio.

Este WP será continuado durante la Fase III bajo el nombre de Conceptos Innovadores de Sistemas PV, orientado a continuar las líneas de los proyectos Flotante PV (a través de la adjudicación del subsidio público FIC-R Metropolitano del año 2019), *Building Integration* y el estudio de potenciales nuevos proyectos que se enmarquen en la temática de este paquete de trabajo, el cual se orienta a la adaptación de aplicaciones innovadoras en el contexto nacional.

WP 2. Concepto Agrovoltáico

Descripción

El diseño y funcionamiento de los sistemas PV en las aplicaciones agrícolas tiene muchas oportunidades de adaptación y optimización. La creciente demanda de energía en la agricultura también representa una oportunidad para nuevos tipos de aplicaciones (por ejemplo, la agricultura inteligente basada en drones). El concepto Agrovoltáico, tal y como se conoce hoy en día, puede ampliarse en Chile abarcando una multitud de nuevas opciones en su diseño. El diseño de las plantas solares, las nuevas aplicaciones, la construcción local y la transferencia de conocimientos y educación son igualmente importantes en el desarrollo de este proyecto.

Es posible crear opciones de sistemas dentro del concepto a través de la combinación de la energía PV con baterías, con el bombeo y almacenamiento de agua, con carga eléctrica local (estaciones para equipos, por ejemplo, vehículos agrícolas o utilitarios), con los invernaderos y su climatización, y en combinación con recursos de planificación para diferentes plantas y cultivos (*e.g.* análisis de sombreado, reducción/aumento del crecimiento, parámetros de diseño/dimensiones del campo), nuevas tecnologías para nuevas aplicaciones (*e.g.* láminas solares que sustituyan a las láminas de plástico estándar en los invernaderos), o la incorporación de sistemas solares en la infraestructura agrícola existente.

Para el desarrollo de este WP, CSET recibió la colaboración de Fraunhofer ISE a través de la tesis del

estudiante de doctorado, Max Trommsdorf, "Leapfrogging Ground-Mounted Photovoltaics: Technology Transfer of Agrivoltaic and its Potential for International Development Cooperation". La tesis aborda las oportunidades del concepto Agrivoltaico en comparación con la fotovoltaica montada en el suelo desde un punto de vista administrativo y económico. Además, CSET ha contado con la colaboración del Jefe de Proyectos Agrivoltaicos de Fraunhofer ISE, Stephan Schindele, a través de sus estudios sobre el análisis y evaluación de todos los aspectos, pros y contras, del sistema Agrivoltaico.

Actividades y Resultados

CSET es el pionero en el concepto Agrivoltaico en Chile y Latinoamérica con tres plantas piloto, instaladas en el marco del proyecto FIC Región Metropolitana que finalizó en el año 2018. El Centro trabaja para que la industria local pueda comercializar la tecnología como una solución sustentable para proveer energía, alimentos y agua. A continuación, se describen los resultados de este proyecto:

- Publicaciones
 - Paper y presentación oral en la Conferencia AgriVoltaics2020 (14-16.10.2020), "Agrivoltaics for Farmers with Shadow and Electricity Demand: Results of a Pre-feasibility Study under Net Billing in Central Chile".
 - Whitepaper "Agrivoltaic: Protection of Crops, Water, and Climate with Photovoltaic Panels". (Anexo 5, "Whitepaper Concepto Agrivoltaico")

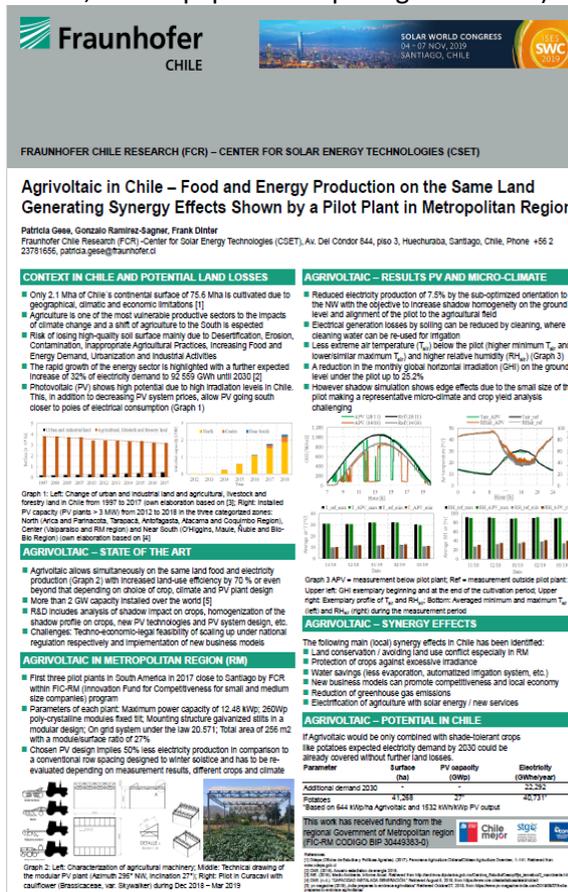


Figura 25 - Poster "Agrivoltaic in Chile" presented in SWC 2019, Santiago, Chile

- Actividades de divulgación y eventos

- Taller en la Universidad de Friburgo con el título "Agrivoltaic in Chile: Concept, Projects and Potential" (24.09.2020).
- Entrevista en Podcast. Invitado por el Programa "Hora Verde" (09.2020), el Investigador David Jung abordó las lecciones aprendidas y experiencias logradas en el proyecto.
- Participación en la Conferencia Intersolar y en el Centro Cultural Brasil-Alemania (CCBA) en Brasil en agosto/septiembre de 2019.
- Participación en la inauguración del proyecto FIC-R Coquimbo "Agricultura Fotovoltaica: Ahorrar agua produciendo energía" (06.05.2019); el "Seminario de Electromovilidad e Innovación" en O'Higgins (06.12. 2019); el seminario "Presente y Futuro del Agua en la Región de O'Higgins" (03.07.2019); el seminario "Mercado y Regulaciones con Impacto en la Industria" organizado por ChileAlimentos en Santiago (11.09.2019).
- Visitas al Ministerio de Energía (07.2019, 02.2020), y al Ministerio de Agricultura (01.2020).
- Desarrollo de herramientas
 - Simulación de la distribución global de irradiación horizontal bajo una planta Agrovoltaica.
 - Modelo tecno-económico para analizar proyectos Agrovoltaicos bajo la ley de Net-billing.
 - Monitoreo remoto de sistemas de medición de microclima y visualización de datos en plataforma web.
- Alianzas estratégicas con Fraunhofer ISE y la industria
 - Participación en 3 talleres estratégicos del equipo agrícola de Fraunhofer ISE.
 - Firma de un acuerdo de colaboración con ZIMMERMANN PV-Stahlbau GmbH & Co. KG, una empresa alemana especializada en estructuras fotovoltaicas, especialmente subestructuras para la industria agrícola.
 - Firma de NDA con Enel X, empresa del Grupo Enel que ofrece productos y servicios orientados a la transformación de la energía a nivel doméstico, urbano e industrial, con vistas al desarrollo sostenible.
 - Firma de NDA con la Universidad Christian Albrecht de Kiel (CAU), para un estudio de análisis del ciclo de vida de la planta.
 - Cooperación científica con Photovoltaic & Renewable Energy Engineering, UNSW, Sydney, Australia.
 - Reuniones con UC - Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, para analizar sinergias con los viveros y temas de gestión del agua (05.2019); visita al proyecto "Invernadero Fotovoltaico, Piloto Semitransparente" de la Universidad de O'Higgins (07.2019).



Figura 26 - Visita de UNSW

- Plantas piloto: Mediciones de datos de microclima y mantenimiento
 - Se están realizando mediciones bajo y fuera de las plantas Agrovoltaicas en las comunas de Curacaví y Lampa (Región Metropolitana, Chile) de forma continua. Los sistemas de medición actuales consisten en estaciones que permiten registrar la temperatura y humedad del aire, la temperatura y humedad del suelo, la radiación solar horizontal a nivel del suelo y a nivel del módulo PV. Tras el análisis de los datos, se publicó una ponencia en el Solar World Congress 2019 con el título "Agrivoltaic in Chile - Integrative solution to use efficiently land for food and energy production and generating potential synergy effects shown by a pilot plant in Metropolitan region".
 - Realización de informes para la evaluación del estado de los pilotos, analizando las mejoras y/o ajustes que deben realizarse para corregir/mejorar su funcionamiento.
 - En julio de 2020 se produjo una falla en el sistema eléctrico de la oficina de Curacaví, que está conectada a la planta Agrovoltaica. Se analizaron las fallas y se elaboró un plan de reparación junto con un contrato EPC. Ya para los meses de octubre y noviembre del año 2020, el problema fue resuelto a través de un grupo de eléctricos, y puesto en operación con todas sus funcionalidades.
 - Posterior a los meses de invierno, fue posible gestionar más visitas a terreno de forma progresiva, ya que debido a la situación sanitaria las visitas estaban restringidas a solo actividades indispensables, o bien limitadas en su totalidad por medidas públicas de cuarentena. La comunicación con los beneficiarios pudo retomarse de forma más fluida, donde se percibe una positiva recepción de parte de ellos con respecto al proyecto.
 - Uno de los resultados obtenidos de estas visitas que progresivamente lograron realizarse los últimos meses fue el estudio de los datos sobre el ensuciamiento de los paneles, los cuales presentaron un grado más elevado de soiling que las plantas tradicionales, debido a la altura y la actividad agrícola circundante. Para los meses próximos, se planea publicar el estudio realizado en esta temática, además de presentarlo en la conferencia mundial AgriVoltaics2021.
- Estado actual del proyecto:
 - Hoy en día el concepto Agrovoltaico es conocido por parte de la industria agrícola y se espera que siga incrementando su reconocimiento. Han aumentado las comunicaciones con agricultores, pero además con proveedores y desarrolladores de tecnologías PV y de estructuras (como las necesarias para los proyectos Agrovoltaicos), dado que el

concepto se encuentra iniciando su etapa comercial de consolidación en el mercado.

- Dada la etapa comercial que se encuentra el concepto hoy, se mantienen conversaciones constantes con Enel X para la comercialización de este proyecto, donde se exploran tanto la potencial cadena de suministros y proveedores para estas iniciativas, como alternativas de modelos de negocios que puedan surgir del proyecto.
- Al momento de este informe, se ha podido gestionar un reportaje en la sección de agricultura del diario El Mercurio, Campo, que será publicado el día 16 de febrero del presente año, con lo que se espera aún mayor posicionamiento en la industria y explotar más el concepto comercialmente.

Actividades para la Fase III

A pesar de haber concluido el proyecto Agrovoltáico de manera satisfactoria con lo comprometido para la Fase II, es un proyecto que continuará para la Fase III de CSET, con un proceso de consolidación del concepto orientado hacia un empaquetamiento comercial que permita la incorporación de este tipo de aplicación en la agricultura nacional. Ciertos aspectos identificados para desarrollar en la siguiente fase son:

- Publicación de estudio de potencial agrícola. Se analizó el potencial de la agricultura chilena al sombrear sus cultivos, con el fin de elaborar un catálogo de cultivos aptos para la implantación de soluciones Agrovoltáicas. Este estudio contó con la participación de una estudiante practicante de la carrera de Agronomía, de manera de contar con sus conocimientos para el correcto estudio de los impactos agrícolas de estos cultivos. Se espera publicar durante el primer semestre del año 2021, bajo una dinámica similar a la de un Whitepaper.
- En conjunto con el estudio anterior, se está desarrollando una guía de "Evaluación de emplazamiento Agrovoltáico" para los agricultores, evaluando de forma estándar el potencial para la implantación de una solución Agrovoltáica en función de las características del terreno y la geografía del emplazamiento. Este estudio también se encuentra en la recta final, donde se está discutiendo la fecha definitiva de la publicación.
- Establecer una cadena de suministro para la subestructura de una planta Agrovoltáico, para reducir los costes de inversión de los proyectos.
- Desarrollar nuevos modelos de negocio, incluyendo los beneficios que el concepto Agrovoltáico representa para la agricultura.

WP 3. Almacenamiento Electroquímico

Descripción

Diseño y Desarrollo de Baterías de Flujo RedOx de Cobre

Colaboración co-ejecutor UC – Investigador principal: Mauricio Isaacs, PhD

El almacenamiento eléctrico podría resolver los problemas de generación intermitente de electricidad con fuentes de energía no convencionales como la fotovoltaica o la eólica. En este contexto, el Centro investiga la viabilidad del almacenamiento electroquímico en diferentes mercados. Para el ámbito doméstico existen productos en el mercado, donde el principal problema para Chile es la evaluación económica considerando el entorno regulatorio y los escenarios de precios de la electricidad; para el caso de una batería de gran escala (MW) en la red y su efecto en la integración de la fotovoltaica en el sistema, se aplican otras barreras y soluciones competitivas.

Un segundo campo de I+D es el desarrollo de la tecnología de almacenamiento electroquímico y la

evaluación de producirlas en Chile. Debido a la disponibilidad de litio (Li) en Chile, existen condiciones especiales para ampliar la cadena de valor. Fraunhofer ISE ha desarrollado una tecnología para la producción de celdas de Li, que en principio podría ser transferida. Una segunda tecnología cuyo potencial de aplicación económica en Chile se investiga es el tipo de batería de flujo redox, donde también Fraunhofer ISE ha desarrollado tecnología. Para ello, este paquete de trabajo se centra en la construcción de una batería de flujo redox totalmente de cobre. Los objetivos definidos para completar este proyecto son

- Mejorar la cinética de transferencia de electrones en los electrodos de fieltro de carbono que incorporan sitios catalíticos de alta área activa y conductividad mejorada
- Mejorar la solubilidad de las sales de cobre comunes para aumentar la potencia en el dispositivo mediante aditivos específicos basados en aniones de cloro (Cl⁻)
- Optimizar los parámetros de los objetivos anteriores
- Adaptar la tecnología ya existente para las Baterías Redox de Vanadio, incorporando los resultados del objetivo anterior para construir un prototipo operativo

(Para una información más detallada, consulte el Anexo 6, "Proyectos UC")

Actividades y Resultados

Junto con el co-ejecutor UC, se trabajó en un tipo de batería de tipo Flujo Redox basada en nanopartículas de cobre. Se estudiaron diferentes combinaciones con calcio y litio. Los resultados de estabilidad mostraron un mayor rendimiento para la combinación con litio (menos variaciones según el número de ciclos de carga/descarga).

Las actividades específicas del proyecto son las siguientes:

- Caracterización de Electrodo de Filtro de Grafito, y de Electrodo de Filtro con Grafeno
- Caracterización fisicoquímica de los electrolitos de cobre
- Determinación de los parámetros de eficiencia (pruebas de carga y descarga)
- Desarrollo de prototipos de baterías de flujo redox de cobre

Como resultados de este proyecto, se determinó la eficiencia energética de un sistema totalmente de cobre en estado estacionario. Se analizaron dos muestras de cloruro de cobre, de concentración 3M, para determinar la eficiencia coulombica, voltaica y energética. Ambas soluciones (3M CuCl / 4M HCl / 4M CaCl₂ y 3M CuCl / 4M HCl / 8M LiCl) muestran parámetros de eficiencia similares cuando se trabaja con diferentes densidades de corriente. El método utilizado consistió en aumentar progresivamente la densidad de corriente desde 1mA/cm² hasta 20mA/cm² de forma que se evaluaran los cambios en el sistema con el aumento de la densidad de corriente. Los resultados preliminares muestran que, con el aumento de la densidad de corriente, el sistema de cobre pierde eficiencia debido a la saturación del electrodo. Esta saturación hace que la corriente de descarga se mantenga constante al aumentar la densidad de corriente. Esto hace que todo el cobre que está en estado elemental no reaccione, lo que se refleja en la baja eficiencia.

Actividades para la Fase III

Debido a la situación sanitaria del año 2020 y el recorte presupuestario relacionado a la crisis derivada, el proyecto tuvo que ser suspendido, no pudiendo entregar mayores resultados. A pesar de disponer de un sistema de flujo ya operativo, de momento no ha sido posible continuar con el desarrollo de un nuevo prototipo de batería de flujo redox fabricada íntegramente con cobre. Se mantienen comunicaciones

con el co-ejecutor UC para definir la continuidad del proyecto para la Fase III de CSET.

3.1.2. Evaluación de Calidad PV en Ambiente Desértico

El ambiente desértico trae consigo desafíos específicos, por un lado, relacionados con los efectos del medioambiente en las tecnologías (degradación por rayos UV, sobrecalentamiento, ensuciamiento, corrosión de los contactos, desgaste de los cables, efectos del viento, entre otros), y por el otro relacionado con los equipos de prueba para tales ambientes.

WP 1. Mediciones de Campo de Alta Precisión en Condiciones Desérticas

Descripción

Un aspecto importante de las tecnologías PV para una nueva industria como la chilena es comprender los mecanismos de degradación que afectan a los módulos, especialmente en el contexto nacional. Dependiendo del tipo de entorno al que esté expuesta la tecnología, pueden producirse diferentes mecanismos de degradación y entenderlos es fundamental para determinar el LCOE de un sistema.

Una medición de alta precisión sobre el terreno en el desierto requiere una cuidadosa selección de los instrumentos adecuados y un análisis exhaustivo de los datos de medición en términos de calibraciones y evaluación de la incertidumbre. La experiencia del Fraunhofer ISE es muy valorada en este caso. La monitorización sobre el terreno sirve para determinar con exactitud la sensibilidad de las plantas PV a las influencias ambientales. Además, en un enfoque a largo plazo, CSET podrá analizar los modos de fallo en los campos fotovoltaicos y realizar estudios de degradación. La degradación de los módulos es un proceso a largo plazo y para analizarlo en condiciones reales se necesitan al menos 5 años. Por lo tanto, el primer paso realizado en este proyecto permite la adquisición de los datos durante este periodo de tiempo para poder realizar el estudio.

En ocasiones, la degradación de la energía generada por el sistema PV puede ser el resultado de restricciones mecánicas que dañen parte de las celdas fotovoltaicas. En este caso, se puede realizar una prueba de electroluminiscencia para garantizar la integridad de los módulos PV. CSET ha realizado algunas de estas pruebas in situ en Chile y Uruguay. Los conocimientos adquiridos permiten a CSET realizar análisis y recomendaciones de protocolos de pruebas de electroluminiscencia entre empresas privadas.

Durante la Fase II, CSET participó del proyecto ATAMOSTEC para este análisis de las tecnologías en el ambiente desértico que representa el Norte del país. En paralelo a este proyecto, CSET dispone de una estación solarimétrica y meteorológica autónoma, alimentada por un módulo PV con almacenamiento en batería, en el Desierto de Atacama, y en particular en la comuna de Diego de Almagro, Región de Atacama, las cuales registran las siguientes variables que se visualizan en gráficos a través de una plataforma online especialmente diseñada para ello:

- Irradiancia global
- Irradiancia difusa
- Irradiancia directa

- Temperatura
- Humedad relativa
- Presión atmosférica
- Velocidad del viento
- Cantidad de precipitación

Para el desarrollo de este WP, CSET ha contado con la colaboración del Fraunhofer ISE a través de las siguientes contribuciones

- "Service life model for PV modules", Ismael Kaaya, tesis de estudiante de doctorado.
- "Tensión termomecánica y fiabilidad de la soldadura en el conjunto de células solares", Li Carlos Rendler, tesis de estudiante de doctorado.

Actividades y Resultados

A través de proyectos financiados con fondos complementarios se desarrollaron varios trabajos de medición de alta precisión para el análisis del rendimiento de las plantas PV. A pesar de ser financiados de forma paralela, se presentan en este informe dada la relevancia de los resultados para los objetivos del Centro en esta temática.

Una de las tareas llevadas a cabo fue la de evaluar los posibles daños que un sistema robotizado de limpieza provocaría en los módulos PV. Para ello, se realizó una evaluación de la degradación mecánica de cuatro strings tras miles de ciclos de limpieza.

Para el mantenimiento de la estación de Diego de Almagro, se realizan visitas de campo por parte de dos profesionales de CSET cada siete semanas, en la que se realizan las siguientes tareas:

- Inspección visual de la estación
- Limpieza del módulo PV
- Comprobación del estado de las baterías
- Limpieza de los sensores de irradiación (piranómetros)
- Nivelación de los sensores de irradiación (piranómetros)
- Limpieza del sensor de humedad relativa y temperatura

En cada visita, además del mantenimiento de la estación, se descargan los datos medidos durante el periodo. También se realizan mediciones de irradiancia global y directa con instrumentos de medición de irradiancia calibrados externos a la estación de Diego de Almagro, con el fin de comparar estas mediciones con las registradas por los instrumentos de medición de irradiancia de la estación y determinar si existen desviaciones en las mediciones registradas por la estación.



Figura 27 - Estación meteorológica autónoma en Diego de Almagro

Para evaluar el comportamiento de las variables meteorológicas y de irradiación a lo largo de un año completo, se generó un informe en el que se analizaron todas las variables meteorológicas y de irradiación medidas durante un año cronológico, desde el 1 de enero de 2019 hasta el 31 de diciembre de 2019.

La participación de CSET en el proyecto ATAMOSTEC se ha visto congelada el último tiempo, debido a que los co-ejecutores del proyecto (entre ellos CSET) no están recibiendo más fondos. A pesar de todo, Álvaro Henríquez, parte del equipo CSET, se encuentra desarrollando su tesis de doctorado a través de las instalaciones y con los datos obtenidos en el proyecto ATAMOSTEC.

Actividades para la Fase III

Durante la operación de la Fase III, y ante la eventualidad de retomar el trabajo en ATAMOSTEC, el equipo de Sistemas PV tiene planeada la instalación en la Plataforma Solar del Desierto de Atacama (instalaciones de ATAMOSTEC) varias tecnologías diferentes de módulos bifaciales en varias estructuras, con diferentes configuraciones a medir. Las configuraciones son vertical, fija y con seguidor. De esta forma, se analizará cuál de todas las configuraciones ofrece mejores resultados a largo plazo. Estos módulos bifaciales se medirán mediante varios equipos de trazado de curvas I-V como Daystar y PVStand (este último desarrollado por Fraunhofer ISE). Los resultados permitirán al Centro obtener información sobre esta tecnología y cómo optimizar su configuración.

El registro de las condiciones ambientales y de las medidas de irradiación solar se seguirá realizando a través de la estación meteorológica autónoma, siguiendo el mismo plan de mantenimiento y comparación de las medidas de irradiación solar cada siete semanas.

WP 2. Investigación y Mitigación de Efectos Medioambientales

Descripción

La investigación del impacto de los parámetros ambientales en el rendimiento fotovoltaico requiere no sólo una cuidadosa monitorización de los sistemas, como en el WP 1, sino también el desarrollo de la comprensión de los procesos físicos implicados. Para ello, se desarrollan y utilizan modelos para analizar

en detalle los procesos y las interacciones. CSET investiga diferentes tecnologías de módulos utilizando distintos tipos de vidrio, capas de laminación, tipos de celdas y construcción de marcos. A partir de resultados anteriores, CSET ya ha comprobado que las diferentes tecnologías reaccionan de forma diferente ante las tensiones y los desafíos medioambientales. El rendimiento de los módulos puede disminuir de forma diferente después de la suciedad.

El objetivo del Centro en esta temática es investigar más a fondo las fallas, el impacto de los rayos UV en las tecnologías de los módulos, el efecto de la irradiación espectral y los efectos del ensuciamiento homogéneo y heterogéneo. Debido al costo y a las dificultades para llevar a cabo una medición espectral in situ, el Centro construyó una base de datos basada en el Modelo de Transporte Radiativo para estimar el espectro solar de forma horaria para Chile. La base de datos satelital utilizada es MERRA-II para los aerosoles, el contenido total de agua y el contenido total de ozono. Luego, los valores horarios de esas características atmosféricas se utilizan con el software LibRadTran (Library for Radiative Transfer) para obtener la distribución espectral solar de DNI, GHI e irradiancia difusa. El cálculo se realizó para los 150 píxeles que cubren Chile, sobre una base horaria y se insertó en una base de datos SQL para ayudar a los investigadores a acceder a datos valiosos. Esta recopilación de datos también puede utilizarse para comparar las tecnologías de celdas de referencia fotovoltaicas según su respuesta espectral.

Otro tipo de trabajo es el impacto de los cambios en los niveles de radiación solar a nivel de planta. Una optimización del funcionamiento y del impacto económico puede realizarse utilizando el "now-casting" con cámaras de cielo, que predicen con antelación las sombras producto del paso de nubes.

Para mitigar el impacto de la suciedad en el funcionamiento de la central, CSET ha desarrollado una plataforma web llamada Power Plant Monitoring. Esta plataforma web permite a los operadores de las plantas PV revisar sus datos de producción y los parámetros indicativos del estado de la planta (como el Performance Ratio y el Soiling Rate). También viene con un algoritmo desarrollado por CSET que optimiza el programa de limpieza de la planta PV basándose en los datos de ensuciamiento encontrados en la propia planta. El uso de esta plataforma es en formato de servicios por un año, por lo que es posible ampliar el proyecto, en caso de que el cliente solicite otro año de servicio. Actualmente hay 7 centrales monitorizadas, 3 en Chile, 3 en Brasil y una en México.

Para el desarrollo de este WP, CSET contó con la colaboración del Fraunhofer ISE a través de las siguientes contribuciones:

- "Analysis of PV material and module parameters and their correlation to accelerated aging tests and degradation modes", Djamel Eddine, tesis de estudiante de doctorado.
- "In-situ monitoring during accelerated aging of photovoltaic modules", Esther Fokuhl, tesis de estudiante de doctorado.

Actividades y Resultados

CSET participó activamente y en colaboración con la Universidad de Antofagasta en el desarrollo de los paquetes de trabajo 'Evaluación de Rendimiento de Módulos y Derivados', 'Caracterización Territorial del Desierto de Atacama para Tecnologías Fotovoltaicas' y 'Demostración de Sistemas Fotovoltaicos en Condiciones Desérticas', todos del proyecto ATAMOSTEC. A pesar de ser un proyecto externo, se presentan los resultados dada la relevancia y sinergia de estos con los objetivos de CSET, permitiendo generar un valioso conocimiento en esta área.

La caracterización se subdividió en 3 secciones fundamentales para caracterizar las variables de mayor

impacto para las tecnologías fotovoltaicas:

- La primera sección es la caracterización del recurso solar del Desierto de Atacama. En primer lugar, se identificaron las áreas de interés para instalar estaciones meteorológicas y caracterizarlas, así como las variables solares relevantes para las tecnologías fotovoltaicas bifaciales y los equipos e instrumentos necesarios para medirlas.
- El segundo apartado es la evaluación ambiental de las variables que pueden impactar en las tecnologías PV, como son la temperatura, la humedad, las precipitaciones, la velocidad del viento, las partículas, entre otras. Al igual que en la sección anterior, se identificaron las localizaciones que son de interés por sus diferentes características climáticas y de suelo, y se determinó también el equipamiento necesario para medir las variables. Este trabajo de instalación de estaciones de medición se realizó en diferentes lugares del desierto, midiendo constantemente los datos. Los resultados de esta sección aportaron importantes conocimientos sobre las condiciones generales del Desierto de Atacama por zonas climáticas, los mayores riesgos potenciales para las tecnologías fotovoltaicas e incluso termosolares, así como las respuestas espectrales a la radiación existente en el Desierto de Atacama.
- En tercer lugar, está el apartado de los fundamentos de la suciedad, que es un evento que tiene un gran impacto en las zonas desérticas y que puede deteriorar fuertemente el rendimiento de las tecnologías solares si no se controlan y gestionan adecuadamente. Para esta tarea se ha realizado una revisión bibliográfica, se determinaron las variables para medir los efectos del soiling, y se determinaron los sensores necesarios para medir y su instalación. La revisión bibliográfica se realizó tanto en el ámbito académico como en el industrial para ver el estado del problema del soiling en todo el mundo y obtener una visión general y perspectivas detalladas del problema. Esta revisión bibliográfica es de gran valor para el Centro, ya que proporciona nuevas herramientas y perspectivas para ayudar a resolver el problema del soiling, el cual es un problema latente para la industria solar chilena debido a la escasez de agua (la cual impacta la limpieza) donde se desarrollan actualmente las plantas fotovoltaicas.

Además, también en el marco del proyecto ATAMOSTEC, se desarrolló un informe donde se analizaron los estándares existentes para la medición de módulos fotovoltaicos y se compararon con las condiciones reales del Desierto de Atacama para ver las diferencias más significativas que existen. Por lo tanto, el trabajo en el proyecto ATAMOSTEC ha permitido desde el principio obtener conocimientos que serán aplicados en futuros proyectos con la Industria nacional.

CSET también ha trabajado en un nuevo sistema de limpieza de módulos fotovoltaicos. Este proyecto consistió en la creación de un prototipo para la limpieza de paneles fotovoltaicos que optimiza el consumo de agua y el tiempo de limpieza. Para ello, se ha diseñado y construido un sistema semiautomático de limpieza de paneles fotovoltaicos.

El equipo de limpieza se ha construido utilizando un vehículo en el que se han instalado dispositivos tanto eléctricos como hidráulicos, destacando entre ellos un brazo robótico que posiciona un sistema de pulverización de agua motorizado. Tras las últimas fases de prueba, el prototipo del camión de limpieza de paneles fotovoltaicos fue entregado al cliente.

Actividades para la Fase III

El desarrollo de esta área será parte de la eventual continuación del proyecto ATAMOSTEC, así como del WP para la Fase III “Evaluación de Desempeño para Sistemas PV”, donde se desarrollarán las siguientes actividades:

- Esperar a que finalicen las campañas de medición para analizar y obtener los resultados pertinentes en términos de espectro, variables climáticas y suciedad (soiling). Luego evaluar qué tan precisas son las pruebas que actualmente se realizan según los estándares internacionales y evaluar qué tecnologías serían más beneficiadas en las zonas del Desierto de Atacama.
- Continuar con las pruebas de suciedad y revisar los resultados que arrojan, ya que pueden aportar información valiosa sobre la eficacia de los distintos métodos de limpieza y las características de la deposición en las distintas zonas climáticas del Desierto de Atacama.
- Solicitar en conjunto con Fraunhofer ISE, Industrias y/u otras universidades fondos nacionales e internacionales para dar solución a los actuales problemas de ensuciamiento de las tecnologías fotovoltaica, solar térmica y de sensores de irradiación que se observan en el norte y centro de Chile.

WP 3. Desarrollo de Procedimientos de Testeo Adaptado y Etiquetado

Descripción

Las tecnologías fotovoltaicas tratan de garantizar su fiabilidad desde el principio, por lo que se han desarrollado diversos procedimientos y pruebas para detectar los distintos tipos de fallas. Las tecnologías PV se consideran una tecnología relativamente nueva, por lo que aún no se conocen del todo los tipos de fallas y las formas de degradación que pueden sufrir. Esto adquiere relevancia ahora que esta tecnología se está integrando en otros mercados con características meteorológicas diferentes a las de Europa o Estados Unidos.

CSET se ha centrado fuertemente en poder caracterizar los módulos de las tecnologías fotovoltaicas sometidos a las condiciones climáticas existentes en Chile, y en particular en el Desierto de Atacama, una región atractiva para la industria nacional por su gran potencial de irradiación.

En este momento, la mayoría de los estudios de degradación se han realizado a través de mediciones precisas en laboratorios de nivel internacional (por ejemplo, Fraunhofer ISE). Sin embargo, estos procedimientos son costosos debido a los valores del envío y del equipo de laboratorio. Además, todo el procedimiento de envío de los módulos a los laboratorios es poco práctico y arriesgado, ya que en el mismo envío se pueden dañar. Por ello, CSET se centra en el desarrollo de procedimientos para caracterizar en tiempo real y determinar la degradación de los módulos PV sometidos a las condiciones del Desierto de Atacama.

Actividades y Resultados

Para abordar lo mencionado, CSET ha estado trabajando en esta temática de medición de campo de alta precisión, utilizando el conocimiento y experiencia en el procesamiento de datos y visualización en tiempo real. Durante esta etapa fue posible adaptar el desarrollo existente ya creado por el grupo solar térmico (RL2), a las especificidades del grupo fotovoltaico (RL1). Gracias a estas capacidades desarrolladas, fue posible adaptar y mejorar el sistema de comunicación-almacenamiento-visualización al proyecto ATAMOSTEC para la medición de curvas I-V.

Otro foco de atención de CSET ha sido la implementación y desarrollo de nuevos procedimientos para la detección de fallas en sistemas y módulos PV. Es el caso del testeo de electroluminiscencia, un nuevo procedimiento basado en la detección de fallas mediante el efecto fotoeléctrico. Las imágenes proporcionan información sobre la interacción fotoeléctrica del material fotovoltaico y dan indicaciones

sobre los daños y los diversos efectos que puede haber sufrido el material. Estas pruebas sólo dan estimaciones cualitativas del material, aún no es posible cuantificar las pérdidas de rendimiento que tienen los módulos, ni predecir futuras pérdidas a partir de las imágenes adquiridas, sin embargo, es uno de los objetivos de varios centros de investigación.

Se ha desarrollado una aplicación informática, basada en Python, para el tratamiento automatizado de estas imágenes. El programa detecta, corta, aplica una corrección de perspectiva y guarda cada módulo en archivos separados. Además, puede cortar a nivel de celda fotovoltaica para hacer un análisis más preciso.

En la misma línea, se ha desarrollado la prueba y medición de la curva I-V y la inspección visual de los módulos instalados in situ. Esto permite al personal de CSET centrarse en las mediciones propiamente tal y que un script en Python haga automáticamente el procesamiento de los datos. Así, los investigadores pueden abocarse a la identificación de los defectos de los módulos en lugar de perder tiempo en procesar la información. Para garantizar la continuidad de los programas desarrollados, el Centro utilizó el lenguaje Python como base de todas estas herramientas desarrolladas.

La mayoría de los propietarios de centrales PV tienen que cumplir un contrato relativo al Performance Ratio (PR) de la instalación. En caso de que el PR sea inferior al acordado en el contrato, el responsable de Operación y Mantenimiento (O&M) de la planta podría tener que pagar una multa. En este contexto, CSET implementó un procedimiento interno y herramientas para permitir al equipo responder en un corto período de tiempo a los constantes requerimientos de la industria para la medición y análisis del PR.

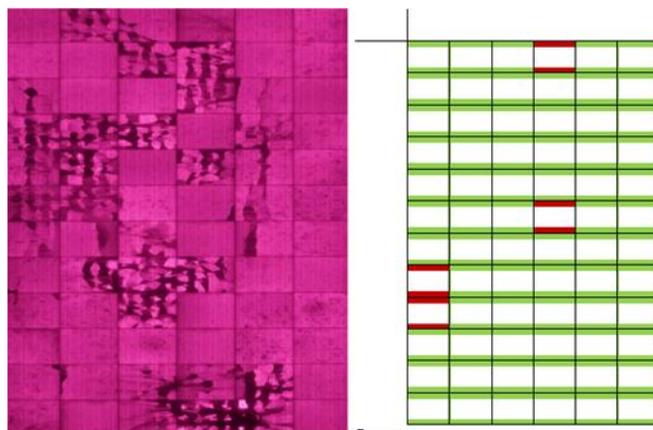


Figura 28 - Módulo PV y su matriz de análisis de celdas dañadas

Actividades para la Fase III

Al igual que la temática desarrollada en el WP anterior, este tema será parte del WP para la Fase III "Evaluación de Desempeño para Sistemas PV". Es por ello que se vislumbran ciertas actividades futuras respecto a los resultados obtenidos en esta ya concluida etapa. Una de ellas es el uso de herramientas de procesamiento de imágenes para detectar las grietas en la superficie de las células y etiquetar los tipos de fallas. Aunque el método es prometedor, el modelo debe seguir entrenándose para reducir el nivel de falsos negativos o falsos positivos en la detección automática de defectos en las celdas fotovoltaicas.

Actualmente, se está construyendo una plataforma web abierta para estimar automáticamente el PR de cualquier propietario de una central PV. Esta plataforma ayudará a encargado de O&M o a la parte interesada de la central eléctrica en estimar el funcionamiento de esta. En el caso de que encuentren un PR bajo, pueden solicitar una medición con equipos certificados para tomar las medidas de mitigación necesarias.

3.2. RL2 – Sistemas Solares Térmicos

Descripción y Objetivos

Tecnologías solares térmicas son usadas tanto para la generación de energía (a través de la Concentración Solar de Potencia o CSP), como para el uso de calor en procesos industriales (llamado SHIP, por su sigla en inglés *Solar Heat for Industrial Processes*). Estas tecnologías poseen un gran rango de complejidad y madurez, así como de potenciales temperaturas a alcanzar. A pesar de que Chile tiene uno de los mejores potenciales para el progreso de estas tecnologías, dada los valores alcanzados por la radiación solar de ciertas zonas geográficas del país, este desarrollo no ha sido tan exitoso como lo esperado. Lo anterior es debido a diversos factores, entre los que cabe mencionar, paradójicamente, la baja en los precios de los sistemas PV. A pesar de ello, durante el último tiempo se ha visto que esta tendencia ha ido cambiando, especialmente debido a la necesidad de almacenamiento para soportar la generación variable de ERNC, la cual puede ser asistida por el almacenamiento térmico derivado de estas tecnologías.

El objetivo del Centro en esta Línea de Investigación es potenciar el desarrollo de estas tecnologías para fomentar y facilitar la incorporación de estas energías renovables en la matriz energética nacional. Para ello, se han definido los siguientes objetivos específicos:

- Apoyo en el desarrollo de tecnologías de almacenamiento de alta temperatura, basadas en insumos y productos nacionales.
- Apoyo a los proyectos de CSP pioneros a nivel nacional.
- Crear know-how nacional en la evaluación de calidad y durabilidad de componentes.
- Desarrollo de mercados potenciales para tecnologías solares térmicas innovadoras, fomentando la implementación de estas al reducir el riesgo, demostrar potenciales económicos y mejorar las herramientas de planificación.

El trabajo en esta RL es organizado en dos proyectos principales, los cuales son divididos en diferentes WP, como se mencionan a continuación:

- Proyecto 2.1 Concentración Solar de Potencia (CSP)
 - WP1 Simulación y Optimización de Sistemas
 - WP2 Almacenamiento de Sales Derretidas a Altas Temperaturas
 - WP3 Impacto del Clima Local
- Proyecto 2.2 Calor Solar para Procesos Industriales (SHIP)
 - WP1 Desempeño del Campo Solar
 - WP2 Tecnologías y Procesos Térmicos Innovadores
 - WP3 Casos de Estudio

Dentro de ambos proyectos, el equipo RL2 contó con el apoyo de Tom Fluri, PhD y jefe del grupo “Solar Thermal Power Plants and High Temperatures Storage” de Fraunhofer ISE, Karl-Anders Weiss, PhD en testeo de materiales y ciencia de materiales, y Wolfgang Kramer,

PhD en termodinámica, transferencia de calor y tecnologías solares térmicas, en la identificación y evaluación de oportunidades en Chile para propuestas y proyectos en conjunto con Fraunhofer ISE.

Modelo de Negocios

Para el caso de esta RL, las tecnologías de cada proyecto difieren entre sí, teniendo la primera una finalidad eléctrica, y la otra una calorífica, lo que hace que los enfoques comerciales o de modelos de negocio sean distintos.

Al momento de redactar este informe, y en relación con el proyecto 2.1, existe solo una planta comercial de CSP en Chile. Sin embargo, dado el potencial de esta tecnología en Chile, tanto por el contexto climático y geográfico nacional como por la necesidad de almacenamiento para soportar la generación de ERNC, CSET ve con optimismo este campo tecnológico, no solo concluyendo esta etapa de buena forma, sino que además con la clara intención de continuar en esta línea para el futuro. Esta tendencia energética va en aumento y con una clara perspectiva de largo plazo, ya que Chile posee los niveles más altos de irradiación normal directa (DNI), lo que permite las mejores condiciones para el desarrollo de proyectos de CSP. Además, es importante resaltar que la CSP tiene un gran potencial en términos de creación de valor a nivel nacional, ya que variados servicios y componentes pueden ser desarrollados localmente. Es por esto que el foco está en el desarrollo de competencias, así como en la transferencia tecnológica desde Fraunhofer ISE, de manera de asegurar la calidad y durabilidad de futuros proyectos de CSP.

Con el fin de aumentar las actividades de I+D, el Centro orientó parte de sus esfuerzos en esta etapa a la búsqueda activa de financiamiento adicional, privado o público, nacional e internacional, para el desarrollo de prototipos y actividades de transferencia tecnológica. El enfoque fue siempre la investigación a largo plazo acompañada de investigación aplicada en tópicos operacionales y estudios de factibilidad. Debido al particular potencial del Norte del país en relación con tecnologías de CSP, muchas actividades fueron realizadas en esa zona, y se prevé que siga así en el futuro.

En contraste, para el caso del proyecto 2.2 “Calor Solar para Procesos Industriales”, o SHIP, el foco fue la demostración de soluciones existentes para el uso de procesos de calor solar en Chile, permitiendo el incremento de energías renovables en los procesos caloríficos. Un elemento clave para la obtención de recursos fue la gestión de contratos de I+D y de contratos de servicios con la industria, lo que permitió también la continua mejora y extensión de las capacidades de los investigadores del Centro. Debido a la situación crítica del recurso hídrico en el país, el uso de energía solar para tratar y procesar agua representa un mercado importante, tanto para usos industriales (*e.g.* Minería) como para consumo humano, ambos mercados con especial enfoque en el Norte de Chile.

CSET se ha enfocado en procesos específicos usando energía térmica, tanto para la Minería como para el sector alimenticio, cooperando y colaborando con instituciones expertas en

la temática (Co-ejecutor UC, otros centros de investigación y compañías chilenas). En adición a lo anterior, y transversal a muchos rubros, está el tratamiento de aguas servidas o residuales.

3.2.1. Concentración Solar de Potencia (CSP)

El Norte de Chile tiene condiciones ideales para el desarrollo de proyectos de CSP, aunque a pesar de ello, este desarrollo no ha sido tan rápido como el deseado debido a la caída en los precios de los sistemas PV, como se ha mencionado anteriormente. Sin embargo, esto ha cambiado en el tiempo debido a la principal ventaja de las tecnologías de CSP: el almacenamiento térmico, el cual permite estabilizar el suministro eléctrico de este tipo de fuentes a la matriz energética nacional.

WP 1. Simulación y Optimización de Sistemas
<p>Descripción</p> <p>Debido a la falta de plantas CSP en el país, la mayoría de las actividades relacionadas con este paquete de trabajo se enfocaron en las formas de hacer que la energía solar térmica sea más competitiva. Por lo tanto, se llevaron a cabo simulaciones de sistemas alternativos para Chile (<i>i.e.</i> plantas híbridas CSP+PV, CSP para hidrógeno verde, comparación de CSP con plantas de gas). Este tipo de estudios es parte de la oferta de servicios ofrecidos a la industria y al sector público. Mediante la previsión, el análisis del recurso solar, los ciclos de limpieza por suciedad y demanda, los ciclos de calibración, la evitación de estados críticos del receptor y otros, se busca optimizar el funcionamiento de las potenciales plantas de CSP, de manera de hacer más atractivos este tipo de proyectos.</p> <p>Fraunhofer ISE y CSET pueden ofrecer este servicio conjuntamente a la industria solar. Para el desarrollo de este paquete de trabajo, CSET recibió la colaboración de Fraunhofer ISE a través de la tesis de la estudiante de doctorado, Tabea Obergfell, "Long Time Stability of Phase Change Materials", relacionado con los procesos de las plantas de concentración solar de potencia.</p>
<p>Actividades y Resultados</p> <p>Durante la duración de esta etapa, se realizó un estudio en colaboración con la Universidad de Tarapacá sobre cómo impacta el diseño en las consideraciones técnicas para la implementación de una central solar térmica de colectores cilindro-parabólicos, en la Región de Arica y Parinacota. Se caracterizaron y compararon las superficies de tres plantas cilindro-parabólicas de 30, 50 y 100 MW, con un múltiplo solar de 1, en 16 localizaciones diferentes. También se compararon dos fluidos de trabajo en condiciones de diseño y se evaluaron las plantas desde una perspectiva tecno-económica. Los resultados de este trabajo se presentaron en la conferencia internacional de la Sociedad Internacional de Energía Solar (ISES), Solar World Congress.</p> <p>Las evaluaciones del recurso solar son servicios que se demandan esporádicamente por parte de las empresas, donde la experiencia de CSET en la temática sigue siendo muy demandada. Un servicio reciente es el análisis de reflectividad en algunas ubicaciones potenciales del norte de Chile.</p>

En colaboración con el co-ejecutor UC, se realiza una comparación entre la energía solar concentrada y la generación eléctrica en base a gas, evaluando aspectos económicos y otros relacionados con la flexibilidad; ambas líneas son tecnologías de gran impacto en el contexto actual. El objetivo es cómo descarbonizar la matriz energética chilena con la integración de más energías renovables. Es necesario estudiar los beneficios de las energías limpias con almacenamiento, considerando el retiro de las centrales térmicas contaminantes. Sobre este proyecto, el resultado fue bastante positivo, donde se concluyó que el LCOE en una planta solar híbrida (CSP+PV) es más barato que una termoeléctrica de gas natural. Este estudio fue publicado en febrero de 2021.

A lo largo de esta etapa, CSET, como experto en plantas CSP, desarrolló constantemente investigaciones para ayudar al Ministerio de Energía. Uno de los estudios realizados tuvo como objetivo desarrollar una metodología para la simulación de plantas de torre en el plan de largo plazo de la red eléctrica de Chile. Se dieron recomendaciones sobre cómo integrarlas en un software específico y fueron bien recibidas por los profesionales del Ministerio de Energía.

Por otro lado, en Fraunhofer ISE se sigue trabajando en dos áreas de los sistemas de concentración de torre. En la primera, se ha desarrollado una nueva metodología de control para heliostatos. Este trabajo, ya concluido, daría paso a una campaña de medición para evaluar estadísticamente los resultados obtenidos con esta metodología. La segunda área de sistemas de concentración es una simulación térmica óptima de una planta solar de torre, incluyendo una optimización del receptor. Esta metodología se ha probado en una planta del sur de España y sirve para evaluar y optimizar diferentes tecnologías de torre. Estas son áreas donde Fraunhofer ISE sigue investigando, hoy en día con el objetivo de mejorar el modelo que representa las pérdidas por convección, introducir un patrón de flujo y mejorar los modelos con los que se simulan los componentes del receptor. Este desarrollo de conocimiento ha sido recibido por el equipo CSET a través de la colaboración de Gregor Bern, jefe del equipo Óptica y Colectores Concentradores de ISE.

Por último, se incursionó en temas hídricos en CSP, confeccionando un estudio sobre la reducción del consumo de agua en las plantas de Concentración Solar, aspecto crítico en su funcionamiento, como se ha mostrado en párrafos anteriores. Se ha desarrollado un modelo de optimización de los potenciales de gestión del agua y se ha encontrado la posibilidad de llevarlo a cabo sobre el agua utilizada en la refrigeración de una planta híbrida.

Durante esta etapa, el co-ejecutor UC trabajó en el desarrollo de un modelo, simulación y evaluación de sistemas de energía renovable basados en tecnologías de energía solar concentrada (CSP) para calor de procesos, generación de electricidad y desalinización de agua en Chile. Sus actividades fueron:

- Realizar adaptaciones a los módulos de software existentes para la simulación de Sistemas de Almacenamiento de Energía Térmica (TESS), desarrollando nuevos módulos para simular otras alternativas de TESS que pudieran integrarse a las plantas CSP.
- Modelar en TRNSYS (software de simulación) diferentes configuraciones de plantas híbridas CSP+PV, utilizando sistemas de almacenamiento de energía basados en Sistemas de Almacenamiento de Energía Térmica (TESS) y Sistemas de Almacenamiento de Energía en Batería (BESS), optimizados para plantas considerando las condiciones particulares de Chile.
- Evaluar y simular diferentes configuraciones de plantas CSP basadas en esquemas tradicionales de trabajo con sales fundidas, aceite o sistemas de generación directa de vapor, acopladas a las nuevas tecnologías TESS utilizando los módulos desarrollados para TESS en TRNSYS.
- Modelar plantas de desalación solar en TRNSYS basadas en un esquema de desalación

multiefecto (Multieffect Distillation, MED) integrado con plantas CSP, comparando su rendimiento con tecnologías de ósmosis inversa (RO, *Reverse Osmosis*) integradas con plantas fotovoltaicas (ROPV), realizando un análisis tecno-económico.

- Desarrollar el modelo matemático para los colectores híbridos Solarus, que utiliza paneles fotovoltaicos mezclados con un sistema solar térmico dentro del mismo colector, para desarrollar un módulo de simulación para TRNSYS, utilizando datos medidos del rendimiento de esta tecnología recogidos en los laboratorios. Estos mismos datos de laboratorio son usados para validar el módulo de TRNSYS.
- Preparar un estudio del Estado del Arte para la tercera generación de plantas CSP.

Actividades para la Fase III

A fines de la Fase II se contrataron dos ingenieros para continuar con el trabajo del co-ejecutor UC en cuanto a las simulaciones en el software TRNSYS, ahora con el fin de desarrollar un modelo de integración de vapor solar. Estas aplicaciones de simulación se usarán para diferentes configuraciones, con el fin de comparar distintas tecnologías a través de un análisis técnico-económico. Tras este estudio, se seleccionarán las tecnologías más relevantes para seguir ahondando y optimizando sus modelos matemáticos y desarrollar nuevos módulos de simulación, pudiendo simular plantas y evaluar su rendimiento de mejor forma.

WP 2. Almacenamiento de Sales Derretidas a Altas Temperaturas

Descripción

El objetivo principal de este WP es el desarrollo y la adaptación de la tecnología de sales fundidas utilizando sales locales para su uso en el sistema de almacenamiento térmico y en los procesos de transferencia de calor. Fraunhofer ISE y CSET ofrecen este servicio conjuntamente a la industria solar. Para el desarrollo de este paquete de trabajo, CSET recibió la colaboración del Fraunhofer ISE a través de la tesis del estudiante de doctorado, Sebastian Gamisch, "Investigation of heat exchangers for phase change materials for the thermal management of battery storages". Los materiales de cambio de fase, como las sales, siguen siendo objeto de investigación para los sistemas de almacenamiento. Con sus altos valores de calor específico, también son interesantes para la transferencia de calor en las baterías, lo que se analiza en este estudio. Otra contribución del ISE es la tesis del estudiante de doctorado Georg Hagelstein, "Subcooling in Micro Compacted Organic Phase Change Materials", que presentó un análisis y evaluación de los materiales de cambio de fase orgánicos microcompactados, específicamente en su comportamiento con el subenfriamiento para aplicaciones de almacenamiento.

Actividades y Resultados

En Fraunhofer ISE se está trabajando en el almacenamiento de energía mediante materiales de cambio de fase (PCM), centrándose en dos temas: la investigación sobre intercambiadores de calor y el subenfriamiento en materiales PCM orgánicos microcompactados. Además, ISE cuenta con una instalación de pruebas de sales fundidas, la cual fue ofrecida a la industria salinera chilena para realizar una investigación aplicada conjunta.

Además, se ha desarrollado un modelo de transferencia de calor por computador en 3D para simular el funcionamiento de un tanque de termoclina en las etapas de carga, espera (proceso de enfriamiento) y descarga. Gracias a los últimos avances, ha sido posible simular el proceso de carga y enfriamiento del tanque, permitiendo captar los efectos de la interacción de la interfaz sólido-fluido y la eficacia de la

estratificación. Los resultados de este trabajo se presentaron en la conferencia internacional de ISES, Solar World Congress, en su versión 2019.

Además, el estudiante de doctorado Alejandro Caroca, financiado a través del proyecto SERC, colaboró con CSET en su tema de doctorado desde enero de 2018. Este estudio desarrolló una metodología computacional para el análisis de la estratificación de la temperatura en un tanque de almacenamiento térmico, utilizando sales fundidas como fluido de trabajo e incluyendo una capa compacta de escoria de cobre en el interior del tanque. Desde el año 2020, Alejandro Caroca dejó de colaborar con el grupo CSET.

Por último, el trabajo realizado por Fraunhofer ISE en simulación de sistemas fue el estudio de viabilidad económica de futuros modelos de negocio para sistemas de almacenamiento de electricidad descentralizados, que presenta más posibilidades para la tecnología de plantas CSP con almacenamiento térmico para el apoyo a la red y el equilibrio de energía en la red eléctrica nacional.

Actividades para la Fase III

Desde Fraunhofer ISE, se están validando las simulaciones computacionales con modelos de Mecánica de Fluidos Computacionales. Se está revisando la carga y la descarga para desarrollar las simulaciones experimentales este primer semestre de 2021.

En esta temática de investigación, y dada la cada vez más creciente vinculación entre ISE y CSET, se está empezando a gestionar la participación de estudiantes de doctorado que trabajen en la investigación en ambos centros de investigación, cursando un período en Chile y otro en Alemania. Se espera transferir mayor conocimiento y capacidades, además de mejorar la fluidez de estas transferencias. Para la siguiente fase, se contará con la colaboración de un estudiante de doctorado de Colombia, Juan Sebastián Zuleta, quien partirá su trabajo en ISE para posteriormente asentarse en Chile.

WP 3. Impacto del Clima Local

Descripción

En una instalación solar de tipo torre, el conocimiento del recurso solar local, normalmente el DNI (Irradiancia Normal Directa), no es suficiente, ya que la energía concentrada debe recorrer la distancia entre el espejo y la torre. Durante este trayecto, la energía puede ser absorbida o desviada dejando menos energía disponible que la estimada a partir del DNI. El estado actual de la técnica no permite dar un valor exacto de la cantidad de energía que se pierde en este proceso ya que depende de variables locales como: el contenido de agua en la atmósfera, la presión o los aerosoles.

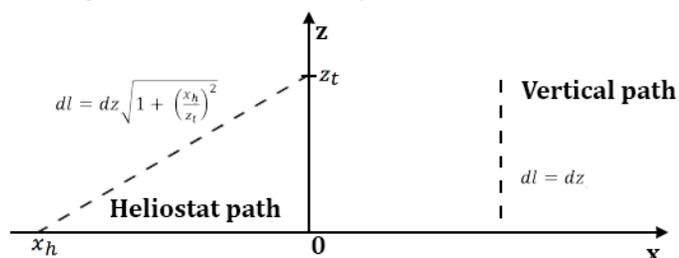


Figura 29 - Descripción del recorrido de la energía entre el heliostato y la torre

El proyecto "Atenuación Atmosférica" de CORFO, en el que CSET colabora con la Universidad de

Antofagasta, permitió el desarrollo del primer mapa de Chile para los valores de atenuación atmosférica entre el heliostato y el receptor en centrales solares térmicas de torre para el norte de Chile.

La estimación de los valores de atenuación atmosférica es especialmente relevante para el diseño y operación de las centrales solares térmicas de torre. Cuanto mayor sea la atenuación atmosférica, mayor será la pérdida de energía entre el heliostato y el receptor de torre, limitando en la práctica la distancia máxima a la que debe situarse el primero. Además, se espera que el conocimiento de estos valores suponga un incentivo para el desarrollo de la energía solar térmica en Chile.

El fin último de este paquete de trabajo es el desarrollo de servicios complementarios de O&M para la industria CSP, identificando las necesidades potenciales de las plantas CSP, y el establecimiento de posibles soluciones. Por un lado, está el ensayo y la garantía de calidad de los principales componentes (espejos, heliostatos, concentradores ópticos, receptores); y por otro, la cuantificación de los efectos de las condiciones ambientales locales sobre la calidad y la durabilidad de dichos componentes.

Actividades y Resultados

Durante esta fase, CSET investigó en este tema con diferentes aplicaciones de este parámetro en plantas de torre. Algunos programas de simulación de campos solares (*e.g.* SAM del National Renewable Energy Laboratory, NREL) ofrecen una descripción básica de la atenuación atmosférica en función de un polinomio de la posición del heliostato dentro del campo solar. El Centro ahondó en parámetros y análisis más precisos para un campo de heliostatos. Aplicando las leyes de Beer-Lambert y los principios de integración según las líneas geométricas, es posible proponer una expresión exacta de la atenuación atmosférica para cada uno de los heliostatos, conociendo la atenuación vertical entre la torre y el suelo:

$$A_{\alpha,h} = 1 - \frac{\int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} \rho_{\lambda} * DNI_{\lambda} * e^{-\alpha\tau_{\lambda}} d\lambda}{\int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} DNI_{\lambda} d\lambda} * \beta$$

En la anterior fórmula, se considera el coeficiente β para considerar las pérdidas del heliostato que no dependen de la atenuación atmosférica (bloqueo y sombra). Esta descripción teórica permite entonces llevar cada una de las atenuaciones (para cada heliostato y longitud de onda) a un valor de atenuación efectiva para la planta solar.

El proyecto cumplió con los objetivos, y se logró generar publicaciones científicas sobre los objetivos esperados, además de concluir que el norte del país posee los menores valores de atenuación atmosférica a nivel global, con lo que deja a Chile en un mejor contexto para la inversión en este tipo de tecnología de generación.

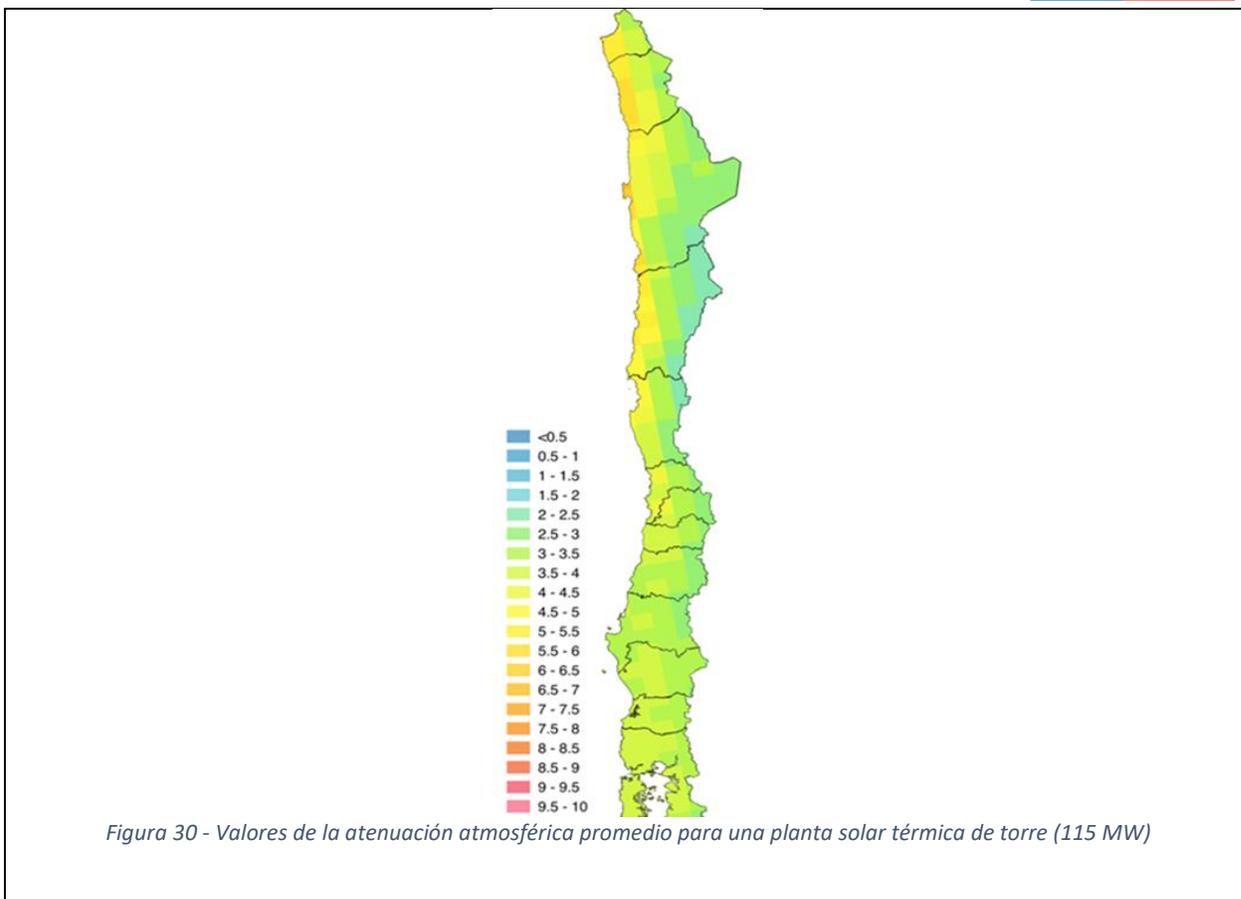


Figura 30 - Valores de la atenuación atmosférica promedio para una planta solar térmica de torre (115 MW)

Actividades para la Fase III

Este es un tema que se continuará en la siguiente fase, bajo el mismo WP “Impacto del Clima Local”. Este método puede utilizarse para comparar los errores en el nivel de energía anual de un campo solar entre el cálculo exacto (utilizando el método anterior) y un cálculo aproximado como los que ofrece el software SAM. Junto con el proyecto de Atenuación Atmosférica, este método podría ser utilizado para obtener un equivalente del “Año Meteorológico Típico”, pero a partir de los aerosoles, lo que sería muy útil a la hora de planificar y desarrollar plantas solares en Chile.

3.2.2. Calor Solar para Procesos Industriales

Chile tiene las condiciones ideales para el desarrollo de tecnologías solares debido los altos valores de irradiación solar. Estas tecnologías pueden ser usadas no solo en la producción eléctrica, sino que también cubrir la demanda de calor en procesos industriales. A nivel nacional, estas aplicaciones no son masivas, debido en parte a la falta de confianza en estos sistemas. Es por ello, que el objetivo principal de este proyecto es el de fomentar el desarrollo de mercados para aplicaciones de calor solar para procesos, además de ayudar en la implementación de estas tecnologías al reducir el riesgo, demostrar el potencial

económico y mejorar las herramientas de planificación.

WP 1. Desempeño del Campo Solar

Descripción

El campo solar de una planta de concentración solar tiene la función de captar y concentrar la energía solar en un receptor que puede ser puntual (torre, horno solar) o lineal (cilindro parabólico, Fresnel lineal). En el diseño de estos campos solares intervienen variables como el DNI, la temperatura ambiente, los parámetros geométricos y la ubicación geográfica, entre otros.

Los objetivos de este paquete de trabajo fueron los siguientes:

- Investigación sobre campos solares de colectores solares térmicos para proporcionar calor a baja y media temperatura a procesos industriales y el rendimiento en un entorno real: suciedad, estabilidad de funcionamiento, durabilidad y falla de los componentes, precisión de seguimiento y estabilidad de la temperatura.
- Evaluación de las tecnologías de producción de vapor solar: rendimiento, esquemas, control (e.g. comportamiento dinámico del acoplamiento directo de colectores de vapor a una red de vapor, control del funcionamiento gracias a las mediciones del estado del tambor de vapor).
- Optimización de los sistemas de Calor Solar para Procesos Industriales (SHIP) y evaluación de tecnologías innovadoras para las necesidades de la industria chilena.
- Trabajar en la búsqueda de financiamiento adicional para la adquisición de proyectos con el objetivo de probar prototipos de colectores para aplicaciones SHIP, como colectores híbridos o colectores de sales fundidas.

Durante el trabajo realizado en la Fase II, el equipo de STS contó con el apoyo de la investigadora de Procesos Solares Térmicos e Industriales de Alta Temperatura y Jefa del equipo de Colectores de Concentración y Óptica, la doctora Anna Heimsath, de Fraunhofer ISE, a través de la colaboración en la gestión de la transferencia de *know-how*, evaluación de oportunidades en Chile, y potenciales aplicaciones conjuntas. Además, a comienzos de la fase, CSET contó con la colaboración de la Universidad Politécnica de Ecuador.

Actividades y Resultados

CSET se ha centrado en el desarrollo de modelos de energía solar térmica para su aplicación a procesos térmicos en la minería. Se han realizado seis modelos diferentes, que pueden utilizarse para evaluar la viabilidad tecnoeconómica de casos concretos:

- Modelo solar térmico para procesos industriales de baja temperatura. Sistema solar sin concentración solar utilizado para procesos industriales con temperaturas inferiores a 80°C, perfiles de demanda energética variables en magnitud, pero presentes a lo largo del año.
- Modelo solar térmico para procesos industriales de tipo batch. Sistema solar sin concentración solar utilizado para procesos industriales con temperaturas inferiores a 80°C, perfiles de demanda energética tipo batch, es decir, desde un gran consumo en determinadas horas del día, hasta días sin ninguna demanda energética. Lógicas de control específicas para resolver o evitar períodos de sobrecalentamiento en sistemas solares.
- Modelo solar térmico para líquidos a temperatura media. Sistema solar con concentración solar para procesos con temperaturas entre los 80 y 160°C y con un fluido en fase líquida.
- Modelo solar térmico para la generación de vapor a temperatura media. Sistema solar de

concentración para procesos que utilizan una demanda de vapor a temperaturas entre 150 y 300°C.

- Modelo solar térmico para procesos que utilizan aire caliente. Sistema solar no concentrado para generación de aire caliente a baja temperatura. Sistema solar con concentración para generación de aire caliente a temperatura media e incluso para humidificación del aire a una humedad relativa deseada (*e.g.* obtención de aire caliente en condiciones de saturación).
- Modelo de eficiencia energética para procesos industriales. Integración de la metodología de recuperación de calor en procesos discontinuos cuya demanda y rechazo de calor se producen en diferentes momentos del día. Este modelo también puede integrarse con sistemas solares térmicos.

También se creó una lógica de control de optimización de los parámetros del campo solar para aumentar las ganancias económicas de los clientes. Este sistema de control se ha desarrollado en un lenguaje de programación que permite optimizar los parámetros técnicos de los sistemas y procesos solares en estudio, con el fin de disminuir el consumo de combustibles fósiles de apoyo en las industrias, o por el contrario aumentar los rendimientos de la inversión en sistemas solares térmicos.



Figura 31 - CSET realizando evaluación de colectores cilindro-parabólicos en planta de concentradora de jugos

Además, a finales de 2019 se inició la colaboración con la Universidad Carlos III (Madrid, España) mediante la visita del estudiante de doctorado Antonio Famiglietti. El objetivo de esta visita fue identificar aplicaciones industriales para un colector Fresnel con aire comprimido como fluido de trabajo, que alcanza temperaturas de alrededor de 350-400°C. De esta colaboración, se desprende el estudio de viabilidad tecno-económica del uso del colector Fresnel en procesos industriales en el norte de Chile. Como resultado de este trabajo, se ha enviado un artículo científico al congreso CIES2020 en Lisboa (XVII Congreso Ibérico y XIII Iberoamericano de Energía Solar), con el título "Producción directa de aire caliente en colectores solares Fresnel para la industria minera: estudio de prefactibilidad" con los autores Famiglietti A., Lecuona A., Ibarra M., Roa, J. Este artículo fue aceptado y publicado durante el mes de enero de 2021 en la revista Energy.

Actividades para la Fase III

En Fraunhofer ISE está trabajando en el desarrollo de un nuevo tubo para colectores solares térmicos. Han comprobado que un obstáculo para ampliar el uso de los sistemas solares térmicos en los edificios es el diseño visual, por lo que han simulado tuberías en la fachada de los edificios que son estéticamente más armoniosas con el entorno. Se analiza la posibilidad de trabajar en este tipo de adaptaciones de

tecnologías para el período siguiente.

WP 2. Tecnologías y Procesos Térmicos Innovadores

Descripción

Este WP fue dividido en dos áreas principales: el tratamiento solar del agua y la integración de la energía solar térmica en procesos industriales de tipo batch, mediante circuitos de recuperación de calor y almacenamiento térmico, los cuales se describen a continuación.

Tratamiento Solar de Agua

El tratamiento de agua es uno de los procesos en los que CSET centra sus actividades debido a la conexión entre los recursos hídricos y energéticos, y su relación con el desarrollo económico de diversas comunidades e industrias. Para obtener o tratar agua se necesita energía, y para producir energía se necesita agua. Esta conexión tiene numerosas implicaciones y ramificaciones, como el efecto sobre los recursos hídricos de los proyectos energéticos (por ejemplo, las centrales hidroeléctricas) o los efectos que el cambio climático podría tener sobre el acceso a estos recursos.

Durante toda la fase, el área de tratamiento del agua se ha centrado en el desarrollo de conceptos innovadores en tres ámbitos: la desalinización de agua de mar, el tratamiento de agua potable, salobre y de riego, y la recuperación de agua en la minería no metálica. Se describen estas tres temáticas a continuación:

a) Desalinización de agua de mar

Desde el inicio de su actividad, CSET ha centrado sus esfuerzos en la transferencia tecnológica de la destilación por membranas, dado su importante potencial para producir agua cuando se combina con la energía solar térmica. Durante la Fase I, CSET y Fraunhofer ISE trabajaron de forma conjunta con Crystal Lagoons en esta temática.

b) Tratamiento de agua potable

En Chile no sólo hay muchas plantas desalinizadoras marinas, sino también muchas empresas que tratan el agua de la llave de calidad inferior a la óptima con tecnología de ósmosis inversa. El agua tratada se comercializa después como agua purificada. Especialmente en el norte del país, el agua de la llave contiene altas concentraciones de cal y cloro añadido, lo que tiene un efecto negativo en el sabor del agua.

c) Recuperación de agua en minería no metálica

Desde el punto de vista económico, la industria minera es el campo productivo más importante dentro de Chile. La producción de litio tiene lugar en el norte de Chile, concretamente en el Desierto de Atacama. Las salmueras que contienen litio se transportan desde los yacimientos subterráneos y luego se concentran por evaporación. El problema de este proceso es que el agua evaporada se desperdicia a la atmósfera y no se puede utilizar para otros procesos, lo que limita la producción de litio.

Integración de Energía Solar Térmica en Procesos Industriales de Tipo Batch, Mediante Circuitos de Recuperación de Calor y Almacenamiento Térmico

Esta área de la RL2 consistió en el análisis de viabilidad tecno-económica de una configuración de integración solar en procesos industriales que considera circuitos de recuperación de calor entre procesos, así como de almacenamiento térmico. La integración de calor solar en procesos industriales

con demandas continuas ha sido bien estudiada por la academia ya que consume más energía térmica que los procesos discontinuos. Sin embargo, los procesos de tipo discontinuo, típicos de la industria química, láctea o cervecera, están presentes en todo el mundo, por lo que la integración de energía solar en dichos procesos puede suponer una disminución considerable de las emisiones de GEI.

Esta configuración de integración se centró en industrias con demanda de tipo batch, siendo por tanto un estudio innovador que permitió identificar la mejor opción de integración solar en dichos procesos. Las redes de calor de tipo batch son complejas, por lo que la configuración propuesta tuvo un elevado número de variables a estudiar, siendo la principal complejidad del estudio.

Para el desarrollo de este paquete de trabajo, CSET contó con la colaboración del Fraunhofer ISE a través de la tesis de la estudiante de doctorado, Hannah Neumann, "Development of a Latent Heat Storage System for Process Heat Application between 150 and 250 °C". Los materiales de cambio de fase son conocidos por la reducción de tamaño y la optimización de los procesos térmicos. Este estudio evalúa y desarrolla dichos materiales especialmente en el rango de temperaturas entre 150 y 250 °C. Además, el equipo contó con el apoyo del MSc Shahab Rohani del grupo de Plantas Solares Térmicas y Almacenamiento de Alta Temperatura, de la división de Sistemas Térmicos y Tecnologías de la Construcción de Fraunhofer ISE, específicamente mediante su experiencia en procesos de reducción de agua en plantas CSP.

Actividades y Resultados

Tratamiento Solar de Agua

a) Desalinización de agua de mar

Desde 2016 se han realizado 2 estudios de factibilidad de desalación de agua de mar por destilación de membranas (MD). Debido a los prometedores resultados, en diciembre de 2018 Crystal Lagoons y Fraunhofer firmaron un acuerdo, con el objetivo de presentar una propuesta conjunta a CORFO en 2019 para la instalación, seguimiento y evaluación de una planta piloto de destilación por membranas, la cual se alimentaría con calor residual. Durante este último año se ha trabajado en la propuesta "Crea y Valida" que finalmente fue presentada a CORFO en septiembre de 2019. El 18 de diciembre de 2019, CORFO publicó la evaluación del proyecto, el cual fue rechazado por CORFO, donde no se han realizado más esfuerzos en el tema.

b) Tratamiento del agua potable

Dentro de este tema destaca la alianza con una empresa peruana con actividades relacionadas al turismo sostenible, consultoría de sostenibilidad y proyectos sociales en Perú, siendo además representante de una empresa tecnológica, que ha desarrollado una nueva tecnología que combina la biofotónica y la ultrasónica, mejorando los procesos en el tratamiento del agua. El proceso biofotónico consiste en transformar la energía solar en vibraciones que modifican los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua a través de placas APSE (Advanced Physical System Engineering).

Cuando el agua se trata por ósmosis inversa (Reverse Osmosis, RO), el consumo de electricidad representa uno de los factores de mayor costo. El proyecto "Aguas de Belén", financiado por la convocatoria "Súmate a Innovar" de CORFO, consistió en la investigación de la viabilidad técnica y económica de implementar la destilación por membranas (MD) alimentada por energía solar térmica. También se evaluó como alternativa el uso de una planta de ósmosis inversa, cuya demanda de electricidad se cubre completamente con módulos fotovoltaicos. Se le enviaron los

resultados al cliente y las alternativas sugeridas para la gestión de su proceso, priorizándolas desde el punto de vista económico.



Figura 32 - Equipo en proyecto Aguas de Belén, Arica

c) Recuperación de agua en la minería

Dada la importancia de este proceso, y la necesidad de que los métodos desarrollados en Fraunhofer ISE sean aplicables, la investigadora de ISE, Corina Ruf, visitó CSET durante el año 2018. Su objetivo era la investigación de este proceso y el análisis de posibles mejoras en los ámbitos de recuperación de energía y agua. Como resultado del trabajo conjunto, se envió una propuesta sobre una instalación de procesos para la concentración de salmueras de litio sin pérdida de agua ni producción de residuos. Esta propuesta consistía en examinar la viabilidad general de la concentración de salmueras con dicha tecnología. Esta propuesta se envió y discutió con un gran productor de litio en Chile para la recuperación de agua en la producción de litio, donde después de varias comunicaciones no se pudo llegar a puerta. Esta propuesta se encuentra hasta el día de hoy en *standby*, esperando despertar nuevamente el interés de la industria.

d) Preparación de membranas superhidrofóbicas

Dentro de la temática de tratamiento de agua y durante el transcurso de la Fase II, CSET y el co-ejecutor UC identificaron la oportunidad de desarrollar un proyecto relacionado con la desalación de agua mediante destilación por membranas, a través del equipo universitario del profesor Dr. Alain Tundidor, específicamente en la producción de membranas superhidrofóbicas. El objetivo es construir un módulo de destilación por membrana a escala de laboratorio para determinar su rendimiento frente a la retención de sales y otras sustancias de interés. (Para obtener información más detallada, consulte el anexo 6, "Proyectos de la UC")

Como se ha mencionado, los colaboradores de la UC trabajaron en el diseño y preparación de membranas superhidrofóbicas compuestas por Difluoruro de Polivinilideno (PVDF) y nanopartículas hidrofóbicas, soportadas sobre poliéster no tejido, y en la caracterización y estudio de rendimiento de estas mediante el proceso de Destilación de Membranas. Para este proyecto, se definieron y llevaron a cabo los siguientes objetivos:

- Preparar membranas de PVDF superhidrofóbicas soportadas sobre poliéster no tejido, a partir de la inserción de nanopartículas hidrofobizadas en su superficie.

- Caracterizar las membranas de PVDF mediante la técnica de microscopía electrónica de barrido para evaluar el espesor de la membrana y la morfología de los poros; el ángulo de contacto con el agua (WCA) y la porosidad.
- Evaluar el rendimiento de las membranas preparadas en el módulo de destilación por membrana (MD), en colaboración con el Dr. Koschikowski de ISE.

Por lo tanto, los avances en estas áreas de Tratamiento de Aguas han llevado a la formulación de propuestas tanto públicas como privadas, con el objetivo de obtener fondos para el desarrollo de proyectos de investigación y demostración. Además, se realizó una presentación oral en el GECAMIN WATER CONGRESS 2019 sobre la idea del proyecto Crystal Lagoons - la desalinización de agua por proceso de destilación de membrana con calor residual. Por último, se postuló a una patente a través del trabajo realizado por el investigador Dr. Alain Tundidor y su equipo, en el marco del proyecto sobre la producción de membranas superhidrofóbicas para el proceso de destilación por membranas.

Integración de Energía Solar Térmica en Procesos Industriales de Tipo Batch, Mediante Circuitos de Recuperación de Calor y Almacenamiento Térmico

Durante esta etapa, CSET trabajó en el estudio de procesos industriales que utilizan procesos que demandan calor en un momento diferente a los que demandan refrigeración (o rechazan calor), para los que convencionalmente se utilizaría una caldera para generar calor y una enfriadora para la refrigeración. Se estudió el almacenamiento indirecto en distintos estanques para que los procesos que necesitan rechazar calor puedan hacerlo en un estanque de almacenamiento de energía que posteriormente pueda satisfacer la demanda de calor de un proceso que necesite calentar algún fluido.

Mediante una simulación transitoria, que permitió un análisis paramétrico, se estudiaron las alternativas de diseño de la configuración propuesta y el diseño óptimo del campo solar, así como la definición de las limitaciones del sistema. Los resultados muestran miles de configuraciones diferentes del sistema solar integrado al sistema de recuperación de calor en procesos discontinuos con demandas de calor y refrigeración en diferentes periodos del día. Para cada configuración se calculó la cantidad de emisiones de CO₂ que generaría la planta y el coste total de inversión y operación, siendo las soluciones óptimas las que reducen cada uno de estos parámetros. Estos resultados fueron presentados en la conferencia internacional del ISES, Solar World Congress.

En paralelo a este tema, el equipo de Sistemas Solares Térmicos desarrolló un análisis tecno-económico de diferentes configuraciones de refrigeración en una planta de minería no metálica. El objetivo de este estudio fue analizar la posibilidad de utilizar el calor emanado de los procesos para ser utilizado en la refrigeración del sistema. También, con otro cliente, se realizó una evaluación de una instalación solar para el calentamiento de una solución ácida. La evaluación fue para una solución que está a 5°C, y que necesitaba estar a 65°C. Esta solución se bombea a una pila de lixiviación de cobre con una superficie de 10x10 metros cuadrados y una altura de 1 metro.

Actividades para la Fase III

El tópico de Tratamiento de Agua será un tema por tratar durante la Fase III de CSET, dentro del WP "Tecnologías Solares Térmicas Innovadoras". Algunas actividades que serán abordadas durante el próximo período, o bien, actividades ya realizadas en miras de la siguiente fase, son:

- CSET mantiene conversaciones con la Universidad de Concepción, a través del Rodrigo Bórquez, con el objetivo de establecer una alianza entre ambas instituciones para desarrollar proyectos de tratamiento de agua vía nanofiltración impulsada por energía PV, para aplicaciones de

pequeña escala para la producción de agua para consumo humano y cultivos agrícolas (invernaderos con superficies menores o iguales a 1000 metros cuadrados).

- En relación a la potencial alianza descrita, se prevé el desarrollo de un anteproyecto destinado a desarrollar un sistema piloto de cultivo a pequeña escala, por ejemplo, un invernadero con una superficie de 1000 metros cuadrados, que contemple: la obtención de agua para consumo humano y cultivos a partir de un sistema de tratamiento por nanofiltración, la autogeneración de energía eléctrica mediante celdas fotovoltaicas orgánicas y convencionales, el uso de sistemas de riego automatizados, la monitorización y el control remoto de todos estos procesos y, finalmente, la gestión de los datos respectivos. El objetivo es participar en proyectos públicos y privados con socios que estén interesados en innovar en esta área. Preliminarmente, no existirían antecedentes de proyectos de esta envergadura en Chile, considerando el tratamiento de aguas para consumo humano y para riego agrícola (doble función). También se espera desarrollar investigaciones en relación con tecnología de nanofiltración, celdas fotovoltaicas orgánicas y luz en invernaderos, todo esto a través de los datos generados por esta unidad de producción agrícola.
- De acuerdo con el tema de Tratamiento y Recuperación de Agua Solar en Minería, se llevarán a cabo diversas pruebas de laboratorio en procesos de destilación con membranas con tecnología innovadora, usando las dependencias de Fraunhofer ISE en Alemania. Posteriormente, si los resultados son satisfactorios, se diseñará un prototipo que se transportará a Chile y se instalará en el Desierto de Atacama para verificar los resultados en el contexto nacional.

WP 3. Casos de Estudios

Descripción

Durante la realización de la Fase II, se han desarrollado diferentes proyectos con financiamiento externo o complementario. Estos proyectos externos permiten acceder a información relacionada con estas industrias, para así profundizar en la comprensión de los retos de la industria chilena. Para este período se han identificado tres proyectos como casos de estudio, ya que representan tres tipos de rubros/procesos en donde fue posible demostrar el beneficio de integrar calor solar en ellos.

Los objetivos de este paquete de trabajo son

- Optimización de sistemas SHIP en industrias específicas.
- Métodos de integración para proporcionar calor solar a las plantas industriales en función de los procesos a los que se preste servicio (herramienta de optimización para la selección de los puntos de integración y métodos de intercambio de calor).
- Monitoreo y optimización de procesos industriales, conocimiento detallado del funcionamiento temporal y de las condiciones dinámicas de los componentes, importante para mejorar el control de los flujos de masa.
- Investigación de diferentes herramientas de financiamiento complementario y modelos de negocio para los proyectos, por ejemplo, modelos avanzados de ESCO; Evaluación del impacto de la gestión de riesgos y de las expectativas de intereses de diferentes grupos de financiamiento.

Actividades y Resultados

a) Cervecería Guayacán

El proyecto en conjunto con Cervecería Guayacán fue producto de un Voucher de Innovación CORFO,

Región de Coquimbo, que se presentó bajo el título "Modificación en los procesos productivos de elaboración de cerveza, mediante la incorporación de energía solar térmica y fotovoltaica, mejorando la eficiencia energética y reduciendo costos". Fue adjudicado en noviembre de 2018 y comenzó oficialmente el 14 de enero de 2019.



Figura 33 - Equipo Sistemas Solares Térmicos en Cervecería Guayacán

El objetivo principal de este mecanismo de financiamiento es el desarrollo de soluciones innovadoras a los retos de productividad y/o competitividad en conjunto con proveedores de conocimiento y *know-how*. Por esta razón, CSET propuso a la empresa Cervecería Guayacán buscar la integración de la energía solar térmica y eléctrica en sus procesos cerveceros. Al momento de desarrollo de este proyecto, la empresa se encontraba en una fase de expansión, buscando quintuplicar su producción en otra ubicación en la región de Coquimbo. Su objetivo era sustituir la mayor parte del consumo energético por energía solar para reducir sus emisiones y su dependencia de los combustibles fósiles. Esto, a su vez, les permitió reducir costos y seguir posicionándose como la cerveza solar de Chile.

El proyecto incluyó una fase de medición de la demanda eléctrica y térmica de los procesos de la planta actual. Esta campaña de medición se realizó durante el mes de febrero de 2019 y con ella se obtuvieron los datos de proceso que permitieron conocer la demanda energética de la cervecería.

El proyecto finalizó el 12 de julio de 2019 y se espera continuar con la implementación real de lo estudiado en el proyecto. Lamentablemente, debido a la crisis social y posteriormente a la crisis derivada de la situación sanitaria, la empresa se ha visto ante la necesidad de postergar indefinidamente su expansión, así como también sus planes de implementar el proyecto estudiado por CSET.

(Ver anexo 7, "Whitepaper Cervecería Guayacán", para más información)



Figura 34 - Trabajo en Cervecería Guayacán

La realización de este proyecto permitió el desarrollo y capacitación del equipo en la medición de un nuevo proceso industrial, en este caso, el de la producción de bebidas. Los datos recogidos en el proyecto permitieron al Centro recopilar información relacionada con los procesos industriales de la industria cervecera, las posibilidades de integración solar en estos procesos y cómo optimizarlos. Del aprendizaje de la iniciativa, se pudo realizar el evento Drink Solar, con el objetivo de transferir el conocimiento adquirido a la industria de los alimentos y bebidas, en temáticas relacionadas al uso del calor solar en procesos industriales del rubro.



Figura 35 - Invitación evento Drink Solar, octubre 2019

Derivado de la buena acogida del evento por parte de los asistentes y el potencial de seguir

transfiriendo conocimiento a la industria de bebidas y alimentos, CSET compró un dominio de internet para desarrollar el concepto Drink Solar. Hoy se discute una gran propuesta con una empresa vitivinícola para incorporar procesos similares a los desarrollados con Guayacán, donde se espera seguir trabajando con la industria. La página web permitirá apalancar aún más el concepto en los potenciales clientes, con el fin de masificar la utilización de calor solar en sus procesos.

b) Microprod-Solar

El proyecto denominado Microprod-solar es un estudio internacional financiado por el Gobierno Español a través del centro de investigación español CIESOL, con la colaboración de la Universidad de Almería, Solatom e Inventive Power. Este proyecto estudia el autoabastecimiento energético mediante microrredes renovables de actividades productivas o manufactureras en el ámbito agroalimentario en zonas rurales aisladas de Chile, México y España.

Las principales actividades del proyecto fueron:

- Desarrollo de herramientas de análisis y toma de decisiones para la implementación de microrredes de energía distribuida para el autoabastecimiento de sitios productivos aislados en América Latina.
- Caracterización de las actividades de los sitios productivos a partir de análisis sistematizados, recolección de datos, y la elaboración y aplicación de modelos de demanda/recurso.
- Establecimiento de soluciones técnicas específicas de diseño basadas en la generación distribuida y el almacenamiento de energía, utilizando herramientas de modelado y simulación dinámica.
- Desarrollo y aplicación de algoritmos de control para las soluciones tecnológicas identificadas y desarrolladas.
- Validar los modelos en un entorno real, de acuerdo con las acciones de rehabilitación para actividades productivas preexistentes.

Para la realización de lo anterior, CSET contactó a dos actores de industrias aisladas en Chile, una en el norte y otra en el sur. La primera fue una industria pisquera ubicada en el Valle del Elqui, Región de Coquimbo, y la segunda una industria láctea en Los Ángeles, Región del Biobío. Ambos casos son industrias tradicionales representativas de cada zona, y para ambos se realizó el estudio del proceso con caracterización de la demanda térmica y evaluación del recurso solar. Los informes de los sitios fueron compartidos con los socios, quienes siguen realizando las demás tareas del proyecto. CSET se encuentra a la espera del desarrollo de las tareas asignadas a sus socios (WP2, 3 y 4), una vez recibidas las propuestas y metodologías de integración de energías renovables en las empresas identificadas en Chile que desarrolla el resto del Consorcio, el Centro realizará el estudio económico en detalle de las diferentes propuestas (WP5).

c) Lixiviación Solar

En este proyecto, CSET estudió el proceso minero de lixiviación en una importante empresa minera, donde se identificó la oportunidad de integrar energía solar térmica a este, con un precio competitivo respecto a otros combustibles fósiles. Para el proceso de lixiviación, es posible utilizar disolventes líquidos a cierta temperatura para hacer más eficiente la extracción de los solutos de la pila de lixiviación, donde fue posible idear la incorporación de calor solar en

este proceso industrial.

En primer lugar, se desarrolló una modelización químico-metalúrgica de este proceso de lixiviación, con el fin de obtener los parámetros clave para optimizar la recuperación de cobre de una pila de lixiviación. Con estos parámetros se analizó la identificación y caracterización de las tecnologías solares térmicas que podrían utilizarse para satisfacer la demanda energética del proceso de lixiviación. Finalmente, se entregó la recomendación de la mejor alternativa desde el punto de vista técnico-económico, tanto a nivel de parámetros de proceso como de solución solar térmica óptima.

Este proyecto ha levantado interés de la industria, donde CSET mantiene conversaciones con grandes actores del rubro minero. Durante el año 2021, se espera poder cerrar más de un proyecto relacionado a la temática, llevando el concepto a una categoría de estándar en las empresas mineras con pilas de lixiviación.



Figura 36 - Equipo CSET en pilas de lixiviación

d) Calefacción distrital

A los casos de estudios anteriores, se suma el reciente estudio realizado en el sur de Chile, en conjunto con la empresa Ancare Energy y con el apoyo del financiamiento Súmate a Innovar, de CORFO. Esta iniciativa calculó la demanda térmica preliminar asociada a las distintas edificaciones construidas en Chaitén, Región de los Lagos, con el fin de identificar lugares con mayor densidad térmica y clientes claves para la evaluación futura de un sistema de energía térmica distrital. Este proyecto fue ejecutado durante los últimos meses de la etapa, donde los alcances de este consideran la generación de agua caliente sanitaria y agua caliente para calefacción, para suministrar la demanda térmica de quienes se conecten a la red distrital. En consecuencia, se presenta una propuesta de piloto de red de calefacción distrital en la zona de Chaitén Norte, donde fue necesario el estudio realizado como insumo de la evaluación técnico-económica del proyecto.

Se determinó la demanda térmica anual de 710 edificaciones distintas en función de información recopilada desde el Sistema de Impuestos Internos y se elaboró un mapa de calor que resume la densidad térmica asociada al consumo por área en la comuna.

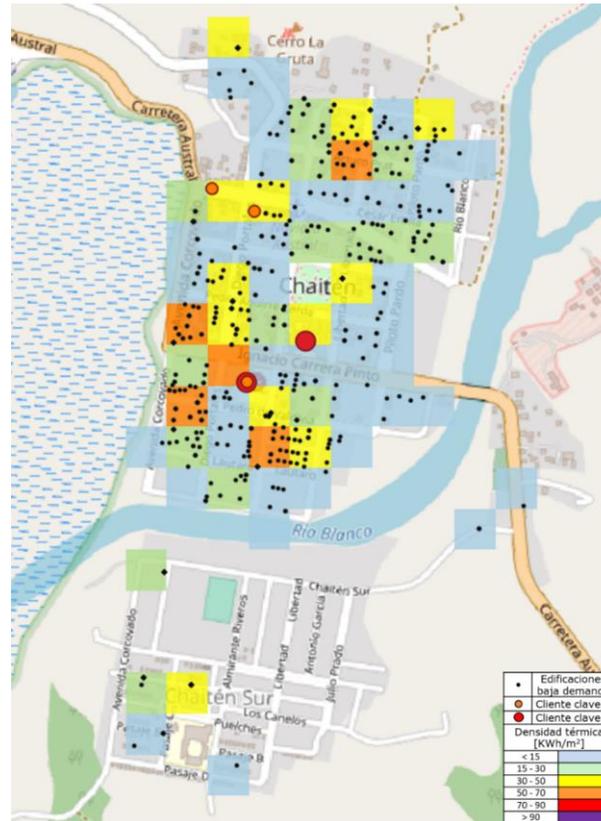


Figura 37 - Mapa de calor de demanda térmica, ubicación de viviendas y clientes claves. Chaitén, Región de los Lagos.

Se evalúan distintas alternativas de integración de nuevos equipos térmicos para satisfacer las demandas térmicas faltantes, combinando calderas operando con gas licuado de petróleo (GLP) de distintas potencias con cuatro alternativas de energía geotérmica. El estudio concluye con una serie de recomendaciones y posibilidades tecno económicas para la empresa Ancare Energy en beneficio mutuo entre esta y la comunidad de Chaitén.

3.3. Proyectos Transversales

Como es mencionado con anterioridad, existen ciertos proyectos denominados Proyectos Transversales, los cuales comparten colaboradores entre ambas Líneas de Investigación, con el fin de evitar una duplicidad de capacidades en CSET y optimizar el tiempo y trabajo de los investigadores. Estos proyectos no se consideran una Línea de Investigación independiente, sino más bien un grupo de proyectos con equipos dinámicos de cada RL.

Los proyectos identificados que cumplen el requisito de poseer capacidades y experiencias de ambas RL son:

- Mapeo Medioambiental y Otros Factores (GIS)
- Investigación en Potencial de Ensuciamiento y Corrosión
- Metodologías de Monitoreo
- Análisis de Sistemas de Energía y Estudio de Redes

1. Mapeo Medioambiental y Otros Factores (GIS)

Descripción

Chile es el país con mayor potencial en recurso solar debido a sus altos niveles de radiación (Irradiancia Normal Directa de hasta 3850 kWh/m²/año) y la baja nubosidad a lo largo del año en el Desierto de Atacama. A pesar de estas condiciones y bajo el nuevo escenario que enfrenta Chile en el desafío de la descarbonización de la matriz energética para el año 2030, la tecnología de torre CSP es aún incipiente en la matriz energética. La razón de este proyecto, al igual que otros dentro de la RL2, es el fomento del conocimiento relacionado a las tecnologías CSP, además del estudio de factores que permitan la inversión en este tipo de iniciativas, al bajar el riesgo de inversión.

Resultados y Actividades

Basándose en el coste nivelado de la energía (LCOE), se elaboró un mapa del potencial para la instalación de plantas CSP de torre en Chile. Esta métrica se utiliza para comparar las distintas tecnologías de generación eléctrica y representa el coste de generar una unidad de energía. Por ello, se calculó el LCOE incluyendo aspectos del recurso solar, aspectos técnicos y económicos, con el fin de proporcionar información que permita disminuir las incertidumbres y así facilitar la distribución de esta tecnología en Chile.

El desarrollo se realizó en lenguaje de programación Python para la parte de visualización y estructura MySQL para la base de datos. Junto a este proyecto se ha creado un espacio de trabajo en GitLab para poder trabajar de forma ágil y en grupo sobre los códigos internos de CSET. A través del LCOE se examinó la estructura de costos, tanto de inversión como de operación, que se parametrizaron en función de los parámetros ambientales locales que afectan a esta tecnología (temperatura ambiente, humedad relativa, presión, velocidad del viento y altitud).

Los resultados para una planta típica con las características consideradas en un proyecto solar en Copiapó fueron que las zonas ubicadas entre la Región de Arica y Parinacota hasta el norte de la Región de Coquimbo, concentrándose en el valle, presentan un gran potencial mostrando un LCOE inferior a 100 USD/MWh, siendo competitivo con la tecnología térmica tradicional. La ubicación óptima para una

planta con estas características es alrededor de Copiapó, obteniendo un LCOE de 77 USD/MWh y un factor de planta cercano al 80% siendo competitivo y una gran alternativa al escenario de descarbonización presente en Chile y el mundo.

Otro de los resultados derivados del proyecto fue el desarrollo del conocimiento y experiencia utilizando la plataforma GitHub, donde varios colaboradores pudieron ser parte del trabajo del desarrollo del código de forma colaborativa. Con esto, el equipo adoptó una nueva habilidad que le ha servido para apalancar otros proyectos.

2. Investigación en Potencial de Ensuciamiento y Corrosión

Descripción

En las plantas CSP, los espejos reflectores (o heliostatos) tienen la función de reflejar la radiación solar hacia un punto específico en todo momento a pesar del movimiento del sol, por lo que se requiere que tengan una alta reflectividad. La acumulación de polvo es uno de los fenómenos que afectan a la reflectividad de los espejos, ya que ésta provoca la absorción y dispersión de los rayos solares, reduciendo la eficiencia de los sistemas. Los estudios han demostrado que el rendimiento de los colectores solares puede disminuir hasta un 15% en un año de exposición a las condiciones naturales del exterior.

Actividades y Resultados

Este trabajo se ha desarrollado en colaboración con el profesor Rodrigo Barraza de la UTFSM (Universidad Técnica Federico Santa María), mediante el desarrollo de una tesis de maestría, a cargo del alumno Víctor Estrada. El objetivo principal de esta investigación fue conocer el comportamiento de la contaminación en los espejos del norte de Chile. Para ello, se instalaron estructuras de medición en cuatro localidades del norte de Chile, donde se realizaron mediciones de reflectividad para cuantificar el ensuciamiento y sus efectos en la reflectividad de los espejos.

Se construyeron dos tipos de estructuras para mantener los espejos. El primer tipo sostiene 13 espejos, con una estructura de cuatro brazos orientados en cuatro direcciones (Norte, Sur, Este y Oeste) y cada brazo tiene tres inclinaciones (30°, 45° y 90° desde el eje horizontal) más un espejo montado en la parte superior. El segundo tipo tiene 25 espejos, en los que se añadió un brazo en cada orientación para analizar el efecto de la suciedad a largo plazo (espejos que no se limpian en cada visita).

Las mediciones de reflectividad se realizaron cada dos meses. Se tomaron cinco mediciones para cada espejo estando sucio y posteriormente limpio, para luego promediar los valores. El instrumento utilizado para medir la suciedad es el reflectómetro especular Devices and Services (D&S) 15R-RGB, para longitud de onda múltiple. Las mediciones se realizaron en la longitud de onda del rojo (660 [nm]). Los datos se utilizan para calcular el Factor de Limpieza (CF, *Clean Factor*), definido como la relación entre la reflectividad cuando el espejo está sucio y cuando está limpio.

Para las orientaciones Norte, Oeste y Este, y en todas las inclinaciones, hay una disminución del CF, que se presenta en las primeras cuatro fechas de mediciones (período primavera-verano), alcanzando un mínimo del 27% en el 0°. Para la orientación sur, la disminución solo se presenta hasta la tercera fecha, a partir de esta fecha se presenta un aumento del 33,5% al 89,5%, este último valor para la séptima fecha. Para las demás orientaciones se produce un aumento de la cuarta a la sexta fecha (período de otoño-invierno).

En cuanto a las inclinaciones, la de 90° es la menos afectada, variando su CF entre el 64% y el 98,5%. Además, para esta inclinación el CF tiene una disminución durante cinco fechas consecutivas (casi un año de medición). Considerando los valores presentados, se observa que el CF oscila entre el 27% y el 98%.

Los resultados finales fueron presentados en agosto de 2019, en la defensa de la tesis de maestría de Víctor Estrada. Además, los resultados se presentaron en el Solar World Congress de ISES, realizado en Santiago de Chile, en noviembre de 2019, en una presentación oral denominada "Influential Parameters in Dust Accumulation in Northern Chile".

3. Metodologías de Monitoreo

Descripción

El monitoreo de plantas y sistemas solares de tipo PV está en mutación. La cantidad de datos generados por las distintas plantas no sólo está creciendo linealmente con la capacidad instalada, sino que también se amplía por el nivel de detalle que se está exigiendo. Aunque la obtención de mediciones finas es siempre una ventaja para la investigación, puede suponer un problema cuando se opera una planta de pocos MW.

En paralelo, para estudiar las integraciones solares térmicas en procesos o sistemas, hay que realizar mediciones y monitorizar la demanda térmica. Un estudio completo de la demanda térmica debe realizarse con campañas experimentales para caracterizar completamente el proceso. El comportamiento térmico rara vez está bien medido o es bien entendido por la industria, de ahí la necesidad de tener una monitorización horaria de las complejidades del proceso.

Actividades y Resultados

Durante el desarrollo de la fase, CSET incursionó en la temática del Internet de las Cosas (IoT) y sus aplicaciones en sistemas energéticos PV. El objetivo fue ver qué tecnologías se adaptan mejor a las condiciones específicas de Chile. En particular, se investigó el protocolo MQTT por su interoperabilidad entre placas de desarrollo tipo Arduino y código Python. Se realizaron con éxito pruebas de comunicación entre un objeto, un servidor, una base de datos y una plataforma de visualización.

Además, CSET ha estudiado el procesamiento de datos térmicos con aprendizaje automático. La distribución de datos con múltiples parámetros como entrada de procesos interconectados se integran en una gran base de datos con el fin de analizar su correlación, volver a muestrear el marco temporal y dar una indexación única. De esta forma, con filtros, interpolación y recombinación de parámetros, se trabajan los datos con modelos matemáticos para una mejor comprensión del proceso.

El problema derivado de las tecnologías de IoT es el acceso a internet en las localidades remotas del norte del país, donde se dificulta la obtención de datos de manera frecuente, para así poder proponer un mantenimiento preventivo o correctivo en poco tiempo.

Debido a la pandemia, las experimentaciones en terreno no fueron posibles, pero sí fueron realizadas en las instalaciones de oficina de CSET en Santiago. Para los períodos siguientes, se está evaluando la posibilidad de incorporar estas aplicaciones en los sistemas Agrovoltaicos.

4. Análisis de Sistemas de Energía y Estudio de Redes

Descripción

Proyecto en colaboración con co-ejecutor UC – Investigador Principal: Álvaro Lorca, PhD

Las centrales eléctricas cuya disponibilidad de energía primaria depende totalmente de la naturaleza se consideran no despachables debido a la incapacidad de controlar la producción de energía más allá de su disponibilidad natural, lo que las deja en la categoría de Generación Renovable Variable (VRG). Esto hace necesario acoplar la producción de estas VRG con de la dinámica de los patrones convencionales de generación hidráulica y térmica para satisfacer la demanda. Esta problemática cobra mayor relevancia a medida que se incorpora más VRG al parque de generación, debido a que la variabilidad del recurso natural puede complicar la programación de la generación hidráulica/térmica convencional y, en última instancia, imponer limitaciones al funcionamiento real de la VRG y, en consecuencia, a su expansión.

El objetivo general de este proyecto es el desarrollo de herramientas efectivas e innovadoras para la operación y planificación de sistemas energéticos bajo presencia significativa de energía solar y sistemas de almacenamiento, con especial atención a los sistemas fotovoltaicos, de concentración de energía solar, de almacenamiento térmico y de baterías.

Los objetivos específicos de este proyecto son

1. Modelización matemática para sistemas híbridos de plantas solares y almacenamiento de energía.
2. Desarrollo de técnicas de previsión energética basadas en modelos estadísticos de alta resolución temporal.
3. Análisis de integración de tecnologías y diseño de políticas energéticas basadas en modelos para la planificación a largo plazo.
4. Desarrollo de una plataforma de simulación integral con alta resolución temporal para la operación del sistema eléctrico chileno.
5. Desarrollo de un esquema de apoyo a la evaluación de proyectos de inversión en plantas solares con almacenamiento de energía.

Actividades y Resultados

Las actividades realizadas a través de la Fase II se dividen según los objetivos específicos definidos anteriormente:

1. Modelización matemática para sistemas híbridos
 - Identificación de opciones tecnológicas de almacenamiento de energía prometedoras para su acoplamiento con tecnologías de generación basadas en energía solar.
 - Desarrollo de modelos matemáticos que reproduzcan el funcionamiento de sistemas de generación de plantas solares híbridas con tecnologías de almacenamiento de energía.
2. Técnicas de previsión de energía
 - Determinación de las características dinámicas específicas del recurso solar en emplazamientos con capacidad instalada y alto potencial de energía solar.
 - Desarrollo de series de alta resolución temporal para la radiación solar y otras variables meteorológicas relevantes en emplazamientos con capacidad instalada y alto potencial de energía solar.
 - Análisis del efecto de la variabilidad del recurso solar en la precisión de las previsiones

- de radiación solar.
- Determinar qué método permite realizar estimaciones precisas de la generación de energía solar para diferentes tecnologías a diferentes escalas temporales y con determinados intervalos de incertidumbre.
3. Análisis de integración de tecnologías y diseño de políticas energéticas basadas en modelos
- Integración de tecnologías de generación híbrida (CSP+PV+TESS+BESS) en modelos de planificación energética a largo plazo.
 - Simulación de escenarios tecnológicos y de políticas públicas energéticas para el sistema eléctrico chileno en presencia de tecnologías de generación híbrida.
 - Evaluación de la integración potencial de las tecnologías de generación híbrida.
 - Simulación de diferentes objetivos de energía renovable para Chile bajo diferentes escenarios.
 - Diseño de recomendaciones de mercado y de políticas públicas energéticas para favorecer la transición hacia futuros sistemas energéticos con alta penetración de energías renovables.
4. Plataforma de simulación con alta resolución temporal
- Propuesta de un modelo de operación (incluyendo la puesta en marcha y el despacho para todas las unidades de generación) y análisis de cómo diferentes restricciones impactan en la operación de ciertas tecnologías bajo alta resolución temporal.
 - Estudio de cómo las cantidades masivas de generación renovable y los diferentes criterios de fiabilidad del sistema impactan en la prestación de servicios complementarios para las tecnologías presentes en el mix de generación.
 - Análisis de la operación de plantas híbridas considerando diferentes configuraciones de plantas y diferentes escenarios en términos de mix de generación, sistemas de transmisión y mercados de servicios complementarios.
5. Esquema de apoyo a la evaluación de proyectos de inversión en plantas solares con almacenamiento de energía
- Evaluación de los beneficios de una planta de generación a lo largo de su vida útil utilizando el concepto de días representativos, considerando un modelo operativo preciso.
 - Análisis de beneficios bajo diferentes escenarios dados por el mix de generación, la disponibilidad de recursos renovables, las condiciones del mercado, la ubicación del proyecto y las políticas públicas definidas por la autoridad.

Hasta ahora, los resultados más relevantes están relacionados con los objetivos 3 y 4, concluidos a partir de todo el trabajo realizado durante la fase. En relación al tercer objetivo, los resultados y las conclusiones son los siguientes:

- La planificación de la expansión a largo plazo mediante el uso de modelos de optimización avanzados desempeña un papel importante en la comprensión de la evolución óptima del sistema eléctrico nacional. Para estudiar este proceso de manera efectiva en el contexto actual, la representación matemática del funcionamiento del sistema se vuelve crucial para estudiar cómo las diferentes políticas e iniciativas afectan los requisitos de flexibilidad del sistema.
- El modelamiento de los sistemas de almacenamiento como las baterías (BESS) y el almacenamiento térmico (TESS), en combinación con una representación efectiva de las

restricciones de flexibilidad del sistema eléctrico, permite entender mejor el rol que estas tecnologías juegan a nivel sistémico en la evolución del Sistema Eléctrico Nacional bajo diferentes escenarios y políticas.

- La transición del Sistema Eléctrico Nacional durante los próximos años estará fuertemente marcada por la implementación de políticas públicas como el Plan Nacional de Descarbonización, y otros objetivos energéticos como la electrificación de la calefacción y/o la entrada masiva de la electromovilidad. Este tipo de transformaciones pueden tener impactos significativos en el rol e importancia de las tecnologías de generación renovable y de las tecnologías flexibles, especialmente por los requerimientos de flexibilidad que imponen al sistema eléctrico.
- A la vista de los resultados obtenidos a través de los trabajos de este proyecto, se destaca especialmente la necesidad de incorporar de forma efectiva las variaciones a corto plazo a la hora de evaluar las decisiones de inversión y la operación de las tecnologías solares. Esto puede ser parcialmente abordado en los modelos de planificación, sin embargo, el uso de modelos operativos con mayor detalle temporal es un aspecto clave para complementar dicho análisis.
- En base a los escenarios analizados y a las diferentes expectativas en relación a los supuestos tecnológicos y a la evolución de los costos, se pueden esperar diferentes caminos de evolución para el sistema eléctrico, sin embargo, en prácticamente todos ellos, tecnologías como la generación renovable, la combinación de fotovoltaica y baterías, y la provisión de flexibilidad de fuentes como CSP juegan un papel crítico, lo que plantea retos para el mercado y los esquemas de operación del sistema.

Con todo lo anterior, se valora el aporte de los resultados obtenidos como un insumo para la discusión en torno al diseño de políticas públicas y criterios de operación que permitan la integración de tecnologías críticas para el sistema, como el almacenamiento, lo que a su vez permite un mayor despliegue de energías renovables y mayores reducciones en las emisiones de CO₂ del Sistema Eléctrico Nacional.

En relación con el cuarto objetivo específico, "Una plataforma de simulación integral con alta resolución temporal para la operación del sistema eléctrico chileno", se destacan los siguientes aspectos, de acuerdo con el desarrollo y experimentos realizados:

- La construcción de modelos centrados en la operación permite incluir un mayor nivel de detalle y por tanto un análisis más profundo del papel que pueden tener las diferentes tecnologías, tanto en la generación de energía como en la prestación de servicios complementarios y otros aspectos que aportan mayor fiabilidad y estabilidad a la misma operación del sistema eléctrico.
- A partir del marco de simulación desarrollado, es posible definir y profundizar en diferentes aspectos según sea necesario; en particular, este marco permite aumentar la resolución horaria para ver fenómenos intrahorarios, o bien, incluir nuevas restricciones que permitan representar con mayor detalle la variación del recurso renovable, incluso minuto a minuto. Parcialmente, la provisión de servicios complementarios es una forma de dar cuenta de esto, ya que el despacho obtenido está preparado para enfrentar un nivel de variaciones determinado por los mismos requerimientos de reserva.
- Los resultados observados muestran que, desde el punto de vista del predespacho, mientras existan inversiones en capacidad técnica para la regulación de frecuencia, y reglas de mercado que permitan la participación de nuevas tecnologías, tecnologías como la fotovoltaica, la eólica, la CSP y las baterías, podrían tener un papel importante en la prestación de servicios complementarios. Las energías renovables variables desempeñan un papel fundamental, sobre

todo para los servicios que derivan de ellas.

En base a todos los resultados obtenidos, la principal ventaja que se concluye de la tecnología CSP sobre otras tecnologías renovables como la solar o la eólica, es la capacidad de proporcionar energía despachable mediante el almacenamiento de energía solar a través del almacenamiento de energía térmica. Esto permite una producción de electricidad flexible y predecible en función de las necesidades del sistema.

(Para mayor información sobre este Proyecto en específico, consultar Anexo 6 “Proyectos UC”)

3.4. Desarrollo de Negocios

El equipo de Desarrollo de Negocios es parte de la Línea Corporativa, pero es presentada en esta sección aparte debido a la relevancia de la adquisición de nuevos negocios para esta segunda etapa. Con el objetivo de lograr una sostenibilidad financiera en el tiempo, el equipo ha orientado los esfuerzos tanto en la captación de nuevos clientes industriales, como en un constante *scouting* de las ofertas de financiamiento, a nivel nacional e internacional.

Derivado del Hito Crítico levantado por CORFO para el traspaso de Fase I a Fase II, el equipo desarrolló una nueva estrategia de negocios, orientado a mejorar y potenciar el contacto del Centro con el mundo industrial, siempre en miras de lograr la sostenibilidad financiera. Esta estrategia fue creada manteniendo un especial foco en la identificación de necesidades de la industria y potenciales mercados que puedan derivar de la constante evolución de la tecnología a nivel local y global. A continuación, se mencionan las áreas desarrolladas por el equipo de Desarrollo de Negocios, siendo explicada en detalle en la sección contigua:

- La estrategia de negocios que se conformó durante esta fase y será usada para períodos futuros. De esta también se desprende la gestión y consolidación del Centro en el ecosistema solar y tecnológico de Chile y Latinoamérica, así como la prospección de otras líneas tecnológicas como extensión de lo solar.
- Los proyectos industriales, contratos de I+D o servicios que derivaron de la gestión conjunta entre este equipo y las Líneas de Investigación en esta adquisición de proyectos y nuevos clientes.
- La prospección, gestión y adjudicación de fondos complementarios, nacional e internacional, que apalancan los ingresos industriales para lograr la sostenibilidad financiera buscada por CSET.

3.4.1 Estrategia de Negocios

A través de la carta n°509 con fecha 14 de enero de 2019, CORFO comunicó la aprobación del Reporte de Hito Crítico como continuidad del proyecto 13CEI2-21803, requiriendo además información adicional por medio de un Reporte Extraordinario Final, el cual fue entregado el 30 de abril del mismo año. Este último reporte contiene, dentro de otros temas levantados por CORFO, el análisis y evaluación de mercado en torno a CSET, estudio del cual deriva la estrategia desarrollada y ejecutada durante esta Fase II.

Para la realización de este estudio y requerimiento, el Centro contrató los servicios consultivos especializados de [Phibrand](#), con el que se comenzó a diseñar el nuevo Plan de Negocios, basando la oferta en servicios de I+D para la industria solar nacional, con adicionalidad y gran valor para el mercado, enfocándose en la generación y transferencia de contenido tecnológico e innovador.

El análisis realizado concluyó que la demanda actual por servicios de I+D en la industria solar está agrupada en unos pocos actores: proveedores e intermediadores de bienes y servicios para compañías de producción final (solar, minería, manufactura, plantas agrícolas, entre otras). Las industrias consumidoras de energía en general no han adoptado soluciones solares de gran envergadura, por lo que no han identificado aún sus necesidades o problemas que pudieran ser resueltos a través de proyectos e iniciativas de I+D, y de las empresas que sí lo han hecho, estas han aplicado soluciones poco complejas y de acuerdo con la oferta que hay de los servicios en el país. Sin embargo, el escenario espera cambiar, al considerar que Chile tiene compromisos internacionales que debe cumplir en temas de sustentabilidad. Es ahí donde CSET se adelanta a la ya inminente demanda de estos servicios de I+D aplicada, con el fin de apoyar este cambio en la industria nacional.

1. Identificación de la Estrategia de Negocios

La oportunidad de negocio para CSET es el dar respuesta y solución a problemas reales, presentes y futuros del sector industrial, de rubros como el minero, eléctrico, agrícola y de transporte, y un sinnúmero de otros procesos industriales tanto del mundo privado como del público, donde puedan beneficiarse al incorporar energía solar en sus operaciones, logrando mejoras en términos de eficiencia energética, huella hídrica, y otros. Todos estos procesos y rubros necesitan de soluciones y optimizaciones en sus operaciones, bien sea a través de estudios de factibilidad (técnico, legal, económico), o bien con pruebas de conceptos, pilotos, implementación de tecnologías, investigación aplicada y transferencia tecnológica. Frente a este escenario entre el mundo de la I+D y el sector industrial, CSET tiene el rol de actuar como puente entre estas partes, replicando el modelo que utiliza Fraunhofer en todos sus centros, como se puede ver en la Figura 38, "Acortando la Brecha, el modelo de Fraunhofer".

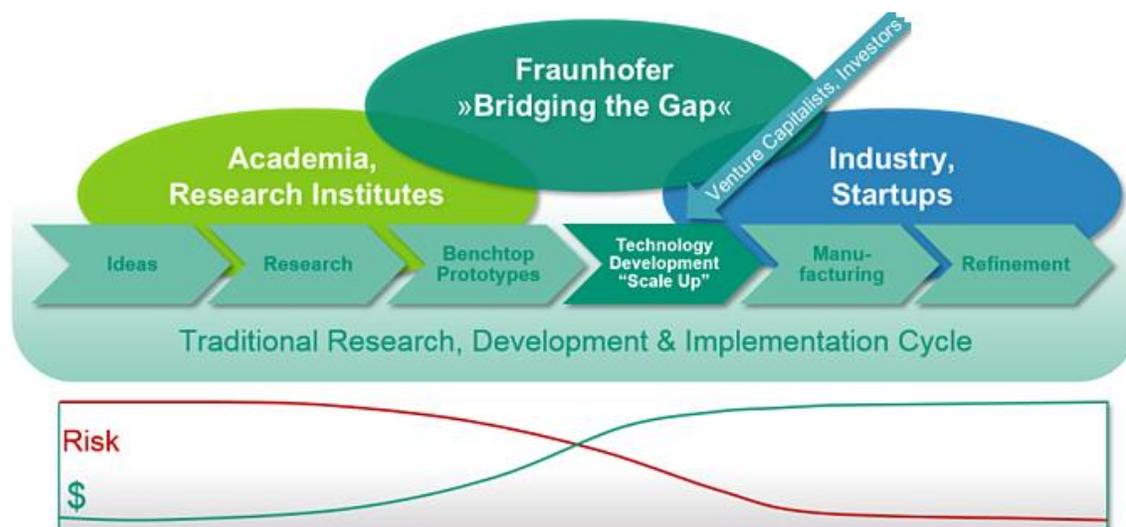


Figura 38 - "Acortando la Brecha", el modelo de Fraunhofer

La estrategia de negocios de CSET está basada en la aproximación al mercado a través de la detección de necesidades del cliente final. Estas necesidades pueden ser resueltas a partir de la implementación de soluciones tecnológicas innovadoras integradas a los productos y servicios ofrecidos por los

proveedores validados por los clientes finales. Lo anterior deriva en un alineamiento estratégico entre CSET y estos proveedores, donde reuniones, comunicaciones y talleres han sido realizados entre las partes. Cabe mencionar que durante la pandemia del COVID-19, los medios digitales se han potenciado de gran manera, casi desplazando las comunicaciones tradicionales y presenciales, pasando a una modalidad de webinars y videollamadas, principalmente, tanto para clientes con vínculos establecidos, como también nuevos contactos y potenciales clientes o socios estratégicos.

En cuanto al crecimiento y sostenibilidad económica necesaria para la operación de CSET, la integración de todos los aspectos mencionados hace posible el camino a lograrla, a través de la vinculación y desarrollo de proyectos con grandes actores de las industrias mineras, agrícolas y energéticas, internacionales o nacionales, sumado a las actividades de difusión como talleres y webinars con actores públicos y privados, que potencian el reconocimiento de CSET en la industria, acercando al Centro aún más a los contratos industriales. Todo este “público objetivo” busca soluciones energéticas basadas en energía solar, las cuales conducen a la necesidad de investigación aplicada con el objetivo de crear estas nuevas aplicaciones tecnológicas adaptadas a la naturaleza de la geografía nacional y la complejidad de los procesos industriales. Estas actividades de difusión se enmarcan en un plan de Marketing y Comunicaciones, mencionado en secciones anteriores, donde se destacan el concepto Agrovoltaico, el uso de energía solar en procesos industriales térmicos, la electromovilidad, y el alcance y aplicaciones del Hidrógeno Verde, como las temáticas de las instancias de mayor acogida en el mundo industrial.

El modelo de negocios considera también el sondeo de procesos y sectores industriales, con el fin de identificar las oportunidades inmediatas. El potencial de habilitar nuevos mercados es alto, especialmente en las oportunidades identificadas como la integración de STS (Sistemas Solares Térmicos) en procesos industriales, eficiencia energética (especialmente ahora con la promulgación de la Ley de Eficiencia Energética), tratamiento de aguas, generación distribuida, y el uso de tecnologías que responden al desafío impuesto por el Cambio Climático, la escasez de agua, la obligación en la reducción de GEI (Gases de Efecto Invernadero), entre otros. Así, se identifican necesidades comunes para varias industrias, o necesidades que representan una mayor importancia o impacto para el contexto nacional. En adición a las necesidades presentes y futuras de la industria, es necesaria una caracterización técnico-económica de las potenciales soluciones, además de la creación de alianzas e identificación de proveedores estratégicos que estén dispuestos a integrar dentro de su oferta de productos y servicios, las soluciones estudiadas por CSET, y así apalancar estas soluciones con la validación y certificación de estos proveedores en las industrias objetivo.

2. Nuevas Alianzas Nacionales e Internacionales

En miras de lograr una sostenibilidad financiera en el futuro, un importante requisito es el posicionamiento del Centro en los ecosistemas de I+D y solar, a nivel nacional e internacional, con el fin de apalancar proyectos de mayor envergadura y extender el alcance tecnológico y geográfico de CET. Para ello, el Centro ha sido parte de distintas cooperaciones con asociaciones durante el transcurso de esta fase (ACSP, ACESOL, ACERA, ChileAlimentos), además de contar con más de 30 mecanismos de vinculación con diferentes actores de la industria. Las asociaciones y colaboraciones son percibidas como positivas en diversos factores de interés de CSET: búsqueda de financiamiento, transferencia tecnológica, proyectos interdisciplinarios, proyectos de Bienes Públicos, vanguardia tecnológica, entre muchos otros.

En cuanto a las relaciones sectoriales, para el caso agrícola, se desarrolló una alianza con DMC

Consultores para crear redes de contacto en el rubro, con el fin de potenciar el concepto Agrovoltaico eventualmente la electromovilidad agrícola. Por otro lado, en conjunto con la Asociación Gremial de Regantes y Drenajes (AGRYD), CSET postuló el proyecto PV Flotante al FIC-R de la Región Metropolitana 2019, donde se adjudicó el proyecto y partirá su desarrollo en conjunto con la Fase III.

En temas de Electromovilidad, se presentó el Consorcio de Electromovilidad en conjunto con la Universidad Santa María (UTFSM) y UC, además de otras instituciones. En este marco, distintas propuestas fueron presentadas en conjunto con Fraunhofer IVI (Dresden, Alemania), la Universidad de Talca y la empresa alemana M3E GmbH, especializada en sistemas, consultoría y servicios relacionados a la Electromovilidad. Esta convocatoria no fue adjudicada por el consorcio, pero se mantienen conversaciones con la Universidad de Chile y su Centro de Aceleración Sostenible de Electromovilidad (CASE), quienes se adjudicaron el fondo, dado que poseen interés en las propuestas de CSET y sus asociados. Por otro lado, CSET sí logró adjudicarse el Programa Tecnológico de CORFO, PTECC 89477, “Electromovilidad en Minería usando Celdas de Combustible a Hidrógeno”, propuesta nuevamente desarrollada en conjunto con UTFSM.

También en conjunto con UTFSM, CSET ha sido invitado a participar del Diplomado “Tecnologías Aplicadas en Hidrógeno Verde” el cual se desarrolla desde el año 2020 y tiene planificado su término en junio de 2021. La participación del Centro está asociada al módulo “Mercados de Hidrógeno Verde”, dictada por Marco Vaccarezza y María Teresa Cerda, ambos parte del equipo CSET.

Fraunhofer Chile forma parte de SERC Chile, principal red de universidades para el desarrollo de investigación relacionando a la energía solar, (proyecto financiado por ANID -ex Conicyt- del Ministerio de Ciencia). La participación de CSET en SERC se está fortaleciendo y ampliando a una nueva área de colaboración, al acordar apoyar el desarrollo de la Gestión Tecnológica de las distintas líneas de trabajo de SERC, llevando la investigación y/o las aplicaciones de la investigación aplicada a la industria. Esta cooperación se discutió ya desde el segundo trimestre de 2020 y se inició a principios de 2021.

Finalmente, también cabe destacar que CSET fue parte de dos alianzas enmarcadas dentro del llamado del Instituto de Tecnologías Limpias de CORFO, relacionado al royalty del litio en Chile, con CSIRO y Universidad Adolfo Ibáñez en relación a la postulación a la etapa RFI del ITL; así como también en alianza con ASDIT y Alta Ley para la postulación a la etapa RFP del Instituto, de las cuales no fue ganador.

3. Nuevas Áreas Tecnológicas y Futuro Sustentable

A medida que la Etapa II fue progresando, nuevos temas de interés en I+D aplicada, proyectos con la industria, y Mercados Energéticos fueron identificados. Dentro de estos, destaca el interés en el desarrollo de sistemas de almacenamiento (baterías e Hidrógeno Verde), impulsado por el progreso en las tecnologías de ERNC. La necesidad de sistemas de almacenamiento tiene raíz en la dependencia en la generación de ERNC a factores externos, como el horario de radiación solar, que repercute no solo en la energía fotovoltaica, sino también en otras como la solar térmica y la eólica, generando una incapacidad de producir energía de forma constante y 24/7.

Por otro lado, el Cambio Climático ha conllevado a un cambio cultural en la sociedad y las empresas, aumentando la convicción de reducir las emisiones de carbono. Esto ha resultado en un interés, tanto a nivel local como global, en la Electromovilidad. Pero es este mismo cambio cultural el que a levantado la importancia de otras temáticas como la eficiencia energética, la huella hídrica, la gestión del agua,

entre otras, tendencias las cuales son reflejadas en la estrategia del último año del Centro, donde tomará mayor participación a medida que avanza este año 2021.

Ya desde el año 2019 CSET ha realizado actividades vinculadas a la temática de Hidrógeno Verde, considerando a este como un probable vector energético que puede desplazar a otros impuestos hoy en día. Su gran potencial radica en la capacidad de extender el alcance de la generación de ERNC, hacia sectores como la Electromovilidad y los procesos industriales. Esto, sumado a los estudios y análisis del potencial de integración de los sistemas de transporte a las redes eléctricas, utilizando la energía solar como fuente base para contar con medios de transporte libres de emisiones, ha generado esfuerzos públicos y privados a nivel mundial. En cuanto a la promoción de la Electromovilidad, se destaca el Consorcio para la Electromovilidad minera a través de celdas de combustible, proyecto CORFO liderado por la UTFSM y donde CSET es co-ejecutor.

A continuación, se presenta el foco estratégico para el 2021 y próximos años, reflejando la continuidad en las áreas de interés y la identificación de nuevas oportunidades y tendencias:

- Sistemas PV innovadores y adaptados al contexto nacional.
- Aplicaciones solares térmicas por industria, para el uso de energía solar en todos los potenciales procesos industriales, con el fin de desplazar o aminorar el uso de combustibles fósiles en procesos industriales térmicos.
- Almacenamiento / Baterías.
- Electromovilidad como extensión de las aplicaciones solares. Énfasis en aplicaciones conectadas a energía solar, por ejemplo, la electromovilidad agrícola como una extensión del concepto Agrovoltaico desarrollado por CSET.
- El Hidrógeno Verde en el mercado nacional, como nuevo sector industrial y vector energético clave para acelerar la descarbonización de la matriz energética, como extensión de la aplicación de la energía solar. El enfoque en este tema es el apoyo a sectores complejos, como el transporte y otros procesos industriales, en el proceso de descarbonización.
- Huella Hídrica (Tratamiento, desalación y gestión hídrica). Conexión de sistemas de desalación con energías renovables, principalmente solares.

Investigación del Mercado Energético y Proyectos Transversales

Tanto para las temáticas tecnológicas de la Fase II como para las identificadas para la Fase III, CSET lleva a cabo estudios de mercado para compañías y para el sector público, orientados a encontrar soluciones concretas a los desafíos de transformar a Chile en una economía solar con el mínimo impacto medioambiental. Uno de los alcances de estos estudios está relacionado con la modificación y adaptación de tecnologías al contexto nacional y a condiciones extremas que pueden ser encontradas en ciertos procesos industriales (como la minería de altura); y otros alcances se encuentran relacionado con prototipos y validaciones, desarrollo de pilotos, mejorar la fiabilidad y el rendimiento de la vida útil, eficiencia energética, reducción de costos, entre otros.

Uno de los proyectos desarrollado en conjunto con el co-ejecutor UC, “Herramientas Avanzadas para la Planificación y Operación de Sistemas Energéticos con una Adopción Masiva de Energía Solar” del Dr. Álvaro Lorca, es destacado en esta sección. Este proyecto tiene alcances interesantes en términos de la contribución a la discusión sobre tener nuevas y mejores herramientas de planificación para el Sistema Eléctrico Nacional, donde las fuentes de Energías Renovables no Convencionales cada día cuentan con mayor participación en la matriz energética nacional.

Las centrales eléctricas, cuya disponibilidad de fuentes de energía primaria depende completamente de la naturaleza, pertenecen a la categoría de Generación Renovable Variable, debido a la incapacidad de controlar la producción de energía más allá de su disponibilidad natural. Es necesario adaptar la producción a la dinámica de los patrones convencionales de generación hidráulica y térmica para satisfacer la demanda.

Este problema toma especial relevancia a medida que más plantas ERNC son conectadas a la matriz energética nacional, debido a que la variabilidad de esta generación de energía complica la programación de generaciones convencionales hidro y termoeléctricas, imponiendo en última instancia restricciones al funcionamiento y, en consecuencia, a la expansión. Diversos estudios han explorado esta problemática, concluyendo la necesidad de desarrollar y utilizar sistemas de almacenamiento de energía (ESS, Energy Storage System), con el fin de permitir mayor flexibilidad en el sistema y, por consiguiente, una mayor proporción de energía renovable y variable. El uso de ESS será un factor clave al permitir mayor penetración de fuentes renovables, estrechando la brecha entre el suministro confiable de energía y la complejidad de la gestión del sistema eléctrico.

En cuanto a estas temáticas, los objetivos generales del Centro son:

- Obtención de modelos matemáticos para centrales solares híbridas con sistemas de almacenamiento de energía.
- Desarrollo de técnicas de previsión de la potencia de salida basadas en modelos estadísticos de alta resolución temporal.
- Desarrollo de análisis de integración de tecnologías y diseño de políticas energéticas basadas en modelos de planificación a largo plazo.
- Implementación de una plataforma de simulación integral con alta resolución temporal para la operación del sistema eléctrico chileno.
- Obtención de un esquema de apoyo a la evaluación de proyectos de inversión en plantas de energía solar con almacenamiento de energía.

En el marco de estos objetivos definidos, se gestionan y mantienen diversas reuniones tanto con el Ministerio de Energía, como con el Coordinador Eléctrico Nacional, con el fin de analizar la posibilidad de promover proyectos del tipo Bienes Públicos (BBPP) en estas áreas, las cuales son identificadas como de gran relevancia para el Sistema Eléctrico Nacional (SEN). Esto permite tener una comunicación constante con las autoridades en la definición de las áreas y temas de interés país, siempre en miras de un futuro sustentable.

A través de esta vinculación con el sector público, diversas iniciativas han sido propuestas al Ministerio de Energía buscando su apoyo en el desarrollo de estos BBPP. A modo de ejemplo, dos proyectos están siendo analizados de forma preliminar:

- Alternativa de segunda vida para paneles de plantas PV de gran escala, a través del concepto Agrovoltaico.
- Estudio del LCOH (Levelized Cost of Hydrogen) en distintas zonas geográficas, como información relevante para inversionistas y tomadores de decisión en proyectos de Hidrógeno Verde.

4. Extensión de Mercados: Brasil, Perú, Argentina

CSET busca posicionarse tanto en el mercado nacional como latinoamericano, partiendo con países con condiciones geográficas o económicas (de mercado) similares a la situación país en Chile. En ese sentido,

CSET realizó una visita a Brasil el año 2019, con el fin de mostrar el proyecto Agrovoltaico, sus alcances y los resultados obtenidos hasta ese entonces. Derivado de esas visita, el Centro fue invitado a participar en la conferencia Intersolar Digital Sao Paulo - Brasil, el 1 de diciembre de 2020, para presentar precisamente la experiencia de CSET en Agrovoltaico.

Mercedes Ibarra, como Líder del área de Sistemas Solares Térmicos previo a la incorporación de María Teresa Cerda, visitó durante el 2019 empresas en México para prospectar oportunidades de negocio y colaboración con distintos actores el ecosistema mexicano.

Junto con CSB, se han explorado posibilidades en Perú, también relacionadas con la visita del Director del Centro, Prof. Dr. Frank Dinter, a Lima, participando en un evento de Minería, a finales de 2019, registrando a FCR como proveedores del estado de Perú.

Durante el último tiempo de la fase no se han registrado viajes presenciales a otros países de la región para el desarrollo de posibles negocios, debido principalmente a la situación sanitaria mundial. Se han realizado contactos a través del uso de plataformas online, en particular con actores del sector minero y energético de Perú, pero no se ha concretado ningún proyecto hasta la fecha. Dentro de estas propuestas, se está analizando la alternativa para levantar financiamiento público en Perú, de la mano de un potencial socio industrial.

3.4.2 Contratos con la Industria

Ya durante el año 2019 la estrategia de CSET empezó a cosechar frutos en cuanto a crecimiento de ingresos provenientes desde el sector privado, esto considerando no competir con la oferta de otros actores ya en el mercado, sino más bien promoviendo la creación de nuevos mercados al abrir y generar espacios de utilidad para nuevos consumidores industriales (potencial demanda) que busquen adoptar soluciones basadas en energía solar. Estos nuevos mercados generan de forma inmediata la necesidad de I+D aplicada, adaptando tecnologías disponibles hoy en día para nuevos usuarios y a la vez identificar tecnologías bajo desarrollo capaces de solucionar problemas en la industria. Todo lo anterior con el fin último de responder a los requerimientos de los procesos industriales presentes en el mercado, y fomentar el uso o adaptación de nuevas tecnologías que puedan representar soluciones innovadoras, efectivas y eficientes para problemas conocidos o futuros. Dentro de esta metodología para conectar con más potenciales clientes y fomentar nuevos mercados, se consideran reuniones, talleres y seminarios a actores públicos y privados, junto con alianzas o NDAs con colaboradores para la búsqueda y realización de proyectos conjuntos.

1. Gestión de Contratos con la Industria

Durante la Fase II, se desarrollaron una serie de actividades para apoyar a las Líneas de Investigación en la búsqueda de obtener nuevos contratos y proyectos de I+D con la industria. La gestión de contactos, reuniones y presentaciones se realizaron en gran medida con actores e instituciones de los rubros de

Minería, Agricultura y Energía. De este primer rubro, se han gestionado comunicaciones y propuestas con compañías como AMSA, Collahuasi, Codelco y CAP, complementando a distintas actividades en conjunto con SONAMI; para el caso de la agricultura, ganadería e industria alimenticia, se han mantenido comunicaciones y relaciones en empresas como Ariztía, Agrosuper, Minuto Verde, Arcor, Fiordo Austral y Viña Concho y Toro, donde ya contamos con un Acuerdo de Entendimiento entre las partes, entre otras empresas del rubro. Para el caso del rubro energético y de combustibles, existen vínculos y comunicaciones con variadas empresas generadoras, transmisoras y distribuidoras, así como también con empresas como COPEC, Lipigas y Gasco, en este último donde ya se están revisando propuestas de manera conjunta.

También desde el sector agrícola, es importante mencionar la realización de varias reuniones con compañías e instituciones interesadas en el concepto “Agrovoltaico”, el cual partió con la adjudicación del subsidio FIC-R Metropolitana del año 2015, terminado en 2018 y que hoy es ejecutado como parte de las operaciones financiadas con este subsidio en cuestión. La gestión de este proyecto permitió la construcción de tres pilotos Agrovoltaico, en Lampa, Curacaví y El Monte, todas locaciones dentro de la Región Metropolitana. Estas tres plantas piloto siguen en operación, siendo permanentemente monitoreadas y controladas por el equipo CSET, suponiendo una importante plataforma de testeo para este concepto innovador adaptado a los cultivos agrícolas de Chile, el cual fue un éxito en cuanto al doble uso de suelo, el cual no perjudica la calidad de suelo agrícola. En adición a este proyecto, la adjudicación del 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”, bajo el concurso FIC-R Metropolitana 2019, ya se encuentra con convenio firmado y empezando las primeras etapas de gestión.

Cabe mencionar el trabajo junto a la compañía FreshCut, especializada en la producción de vegetales de alta calidad. Esta empresa posee su infraestructura y terreno en la comuna de Lampa, en la Región Metropolitana. El concepto Agrovoltaico, así como en general cualquier instalación optimizada de sistemas fotovoltaicos, tiene un gran potencial de valor agregado, ya que, al existir una competencia en el uso de suelo, especialmente cerca de zonas urbanas, este tipo de innovaciones evade ese conflicto entre los potenciales usos del suelo. Otro beneficio adicional, es el derivado de la cobertura que los paneles pueden brindar a los cultivos, protegiéndolos de viento, sol y lluvia, donde es posible, por ejemplo, adecuar la dosis de radiación solar que reciben los cultivos. En conjunto con la compañía, la cual instaló los sistemas, una propuesta fue desarrollada para la convocatoria CORFO “Súmate a Innovar”, donde se postuló en dos ocasiones y fue adjudicada para el concurso del año 2019, año que también empezó su desarrollo como proyecto.

El doble uso de suelo en instalaciones fotovoltaicas es un concepto que está generando cada día mayor interés, tanto en el sector industrial y fotovoltaico en particular, como en el sector público (Ministerio de Agricultura; Departamento de Aguas del Ministerio de Obras Públicas). La presión por el uso de suelo que se ha empezado a observar en el rubro agrícola, especialmente en la instalación de plantas fotovoltaicas de hasta 9 MW, hacen interesante seguir analizando otras alternativas que permitan un doble uso de suelo, pudiendo ser similar al concepto Agrovoltaico, o bien, en conceptos asociados a invernaderos u otras estructuras propias del rubro.

Todas estas aproximaciones a la industria se encuentran dentro del marco del nuevo Plan de Negocios de CSET, iniciado en 2019 y continuado hasta el día de hoy, el cual no ha sido dejado de lado a pesar de las dificultades de los últimos dos años debido a la crisis social y sanitaria. Esta doble crisis ha generado

tanto demoras como impactos relevantes en las decisiones de inversión de varias compañías, donde se han postpuesto o cancelado las inversiones en innovación o I+D, y donde también se han visto redireccionados los esfuerzos públicos, desde programas orientados a la innovación, hacia programas con un fin de reactivación económica. Desde el comienzo de la crisis social en la segunda mitad del año 2019, se ha mantenido una incertidumbre constante en cuanto a los temas económicos del país y del mundo. A pesar de este incierto y complejo contexto, CSET ha manejado la situación de manera de seguir avanzando y asegurando proyectos con contrapartes privadas de la industria, así como el establecimiento de nuevos vínculos y bases para el desarrollo de áreas de interés y potencial, como es la energía solar en la agricultura, la electromovilidad y el Hidrógeno Verde. Cabe mencionar que no obstante el contexto nacional e internacional, el rubro de las energías renovables se ha visto potenciado estos días, al ser visto como un motor del cambio promovido para apuntar a una recuperación económica sustentable, lo que ha llevado a potenciar el posicionamiento del Centro en el ecosistema solar nacional. Y es por ello que se ha fijado como un camino estratégico el orientar parte de las operaciones de CSET hacia la electromovilidad y el Hidrógeno Verde, entendiendo éstas como una extensión de las aplicaciones de energía solar.

Como es mencionado anteriormente, se ha podido apreciar durante el último tiempo un cambio conductual en algunas empresas e instituciones, apuntando a una inquietud cada vez mayor en temáticas como la huella de carbono, prefiriendo el consumo de energías limpias. Por lo mismo, existe un interés concreto en explorar soluciones solares en la matriz energética industrial, donde la postulación a financiamiento de o a través de CSET, sumado a la prestación de servicios del Centro, es destacado acá como una forma de apalancar y acelerar esta incorporación de energía solar dentro de los procesos industriales.

2. Actividades y Resultados

En apoyo a las Líneas de Investigación y con el objetivo de obtener contratos para proyectos de I+D y transferencia de tecnología con el sector privado y público, se realizaron diferentes gestiones de contacto, reuniones, presentaciones, apariciones en medios de comunicación, talleres y webinars con empresas de los sectores de Minería, Agricultura y Energía, entre otros. Para el desarrollo de contratos y consecución de proyectos, se prospectan oportunidades en el mercado, en primera instancia, a través de vínculos con empresas que pueden ser a través de Memorándums de Entendimiento (MoU, Memorandum of Understanding), o bien Acuerdos de Confidencialidad (NDA, Non-Disclosure Agreement). Entre ambos mecanismos suman 38 convenios firmados para el período de la Fase II.

De los NDAs firmados durante la fase, se destacan los siguientes, encerrando entre paréntesis los años de vinculación según convenio:

- Robert Bosch AG Chile, filial en Chile del grupo alemán Bosch (2020-2023). Temas de Hidrógeno Verde en procesos con calderas industriales Bosch, mediante la mezcla con gas natural y gas licuado, o bien 100% Hidrógeno Verde, para usos en Minería y la Agroindustria.
- Enel X, filial de Enel (2020-2022). Búsqueda conjunta de oportunidades en el sector agrícola para el desarrollo de plantas bajo la Ley 20.571 (Net-billing, menores a 300 kWp), diseñadas bajo el concepto Agrovoltaje y con foco en la zona central del país.
- SQM (2021). Acuerdo de confidencialidad bajo el último proyecto en desarrollo en conjunto con el equipo Solar Térmico, el cual empezó su desarrollo en enero de 2021.
- Leitat, Centro de Excelencia (2020-2022). Prospección en temas de gestión de polvo y suciedad en sistemas solares PV y térmicos.

- Universidad Católica de la Santísima Concepción (2020-2023). Prospección de oportunidades de proyectos y pilotaje de tecnologías de Hidrógeno Verde en la Región del Bío-Bío.
- Zimmermann, proveedor de estructuras especiales para sistemas fotovoltaicos (2020-2023). Interés en desarrollar y empaquetar estructuras relacionadas a los proyectos PV innovadores Agrovoltaje y Flotante PV.
- Transelec (2020-2021). Acuerdo de propuesta para entregar soporte en temas de Vigilancia Tecnológica, para ayudar a identificar nuevas oportunidades de negocio en varios frentes.
- Grupo SAESA (2020-2021). Acuerdo de confidencialidad que se enmarca dentro de una propuesta enviada al holding para prospectar tecnología de Hidrógeno Verde para hacer un mejor uso de los excedentes de generación ERNC en la Región de Aysén.
- Gasco Luz, filial de Gasco (2020-2022). Prospección de oportunidades en el sector agrícola a través del concepto Agrovoltaje a través de la Ley de Net-billing y de Pequeños Medios de Generación Distribuida (PMGD). Se identificó una oportunidad en Lampa, Región Metropolitana, en conjunto con la empresa agrícola Oasis de Lampa.

En cuanto a MoUs, se destacan los siguientes:

- Consultora 5D, consultora especializada en asesoría financiera y estructuración de proyectos (2022-2022). Esta consultora cuenta con una importante red de contactos a nivel internacional en temas de financiamiento y desarrollo de proyectos, donde han mostrado un gran interés en desarrollar proyectos de gran escala en Hidrógeno Verde en conjunto con CSET.
- Viña Concha y Toro (2020-2015). Se trata de un convenio de colaboración de gran alcance, bajo el cual se desarrollarán posteriormente proyectos específicos en conjunto con esta Viña que representa una de las más grandes a nivel mundial. Esta alianza busca explorar programas de innovación tecnológica básica y aplicada en diversas temáticas, y ha sido nombrada como “Alianza por un Futuro Renovable”, lo cual ya ha sido difundido en medio tradicionales y Redes Sociales.

Ambos mecanismos de vinculación sirven como paso previo a concretar la ejecución de los servicios o contratos de I+D. Al hablar de contratos y proyectos con la industria, se pueden enumerar bastantes iniciativas realizadas durante la Fase II, dentro de las cuales se destacan:

- Proyecto de Optimización de Limpieza para Plantas PV. Como es mencionado en secciones anteriores, CSET cuenta con un software de desarrollo propio en temas de monitoreo de plantas PV, llamado Power Plant Monitoring. Esta plataforma web es ofrecida a los clientes a modo de SaaS (más otros servicios en terreno) para el monitoreo constante de parámetros de planta, entre los que se encuentran el Performance Rate (PR) y el ratio de ensuciamiento o *soiling rate*. El cliente, una importante empresa de generación de ERNC, contrató a CSET para la optimización de la gestión de limpieza en 5 plantas, ubicadas en México, Brasil y Chile. El primer año de servicio fue ejecutado con resultados satisfactorios, evaluando la posibilidad de extender la prestación de servicios por otro año más, en otros parámetros u otras plantas.
- Análisis de Performance Ratio (PR) para Operador de Plantas PV: Un operador fotovoltaico solicitó a CSET un análisis del Performance Ratio (PR) a un total de trece parques fotovoltaicos situados en diferentes regiones de Chile. Los parques PV estaban en las siguientes localidades: Melipilla, Ñiquén, San Rafael, Bulnes, Ninhue, Chimbarongo, Retiro y Longaví. En cada uno de estos parques se instalaron dos piranómetros en Plano de los Paneles (POA, *Plane of Array*, se refiere a tener la misma inclinación que los módulos fotovoltaicos) y dos sensores de temperatura para medir la temperatura de un módulo. Los datos fueron obtenidos, analizados

y reportados al cliente, dando por finalizado el proyecto el segundo semestre de 2020.

- Estudio de Electroluminiscencia, Uruguay: Como proyecto internacional, destaca este realizado en Uruguay para el testeo de luminiscencia en 460 módulo PV a un gran operador de plantas PV. Los módulos se encontraban distribuidos en 6 diferentes plantas fotovoltaicas.
- Estudio de Mediciones, empresa de generadora: Durante el año 2020, se lograron cerrar dos contratos con una empresa generadora, para los servicios de medición de dos plantas, a través de una estación meteorológica, una radiométrica, y otra de albedo, por al menos un año de funcionamiento. Ambas estaciones son autónomas y no necesitan estar conectadas a la red. Ambos proyectos se encuentran en la etapa inicial de su operación, una ubicada en la Región de Atacama, la cual tiene ya instaladas las estaciones; y la otra en la Región Metropolitana, menos avanzada debido a dificultades en temas de prevención de riesgos y permisos, pero ya se encuentran todos los equipos adquiridos y listos para instalar. La suma de los contratos supera la magnitud de los \$100 millones de pesos.
- Estudios Curva I-V, empresa del rubro energético: Se realizaron dos estudios de Curva I-V para dos parques fotovoltaicos ubicados en las regiones del Maule y Metropolitana. Ambos proyectos se encuentran finalizados y el reporte enviado de forma satisfactoria al cliente.
- Evaluación del Recurso Solar y Reflectividad, empresa generadora CSP: Se realizaron dos estudios para una empresa de generación por CSP en el norte del país, uno consistió en un servicio de medición de variables atmosféricas y del recurso solar, y el otro consistió en una campaña de mediciones de reflectividad para heliostatos. Ambos proyectos se encuentran terminados, donde el Centro se encuentre cercano a cerrar un contrato nuevo con la empresa para continuar ambas líneas en un proyecto de mayor magnitud.

(Para más información sobre los proyectos industriales, ver Anexo 9, “Proyectos Industriales”)

3.4.3 Financiamiento Complementario

Otro punto clave a considerar en la estrategia de negocios de CSET es el financiamiento público y privado para apalancar los recursos provenientes del financiamiento operacional entregado por CORFO, y los provenientes de la industria a través de contratos. Este tipo de financiamiento representa la tercera parte del modelo de sostenibilidad financiera que mantiene Fraunhofer en Alemania, el modelo de los tres tercios, diagramado en la siguiente figura:

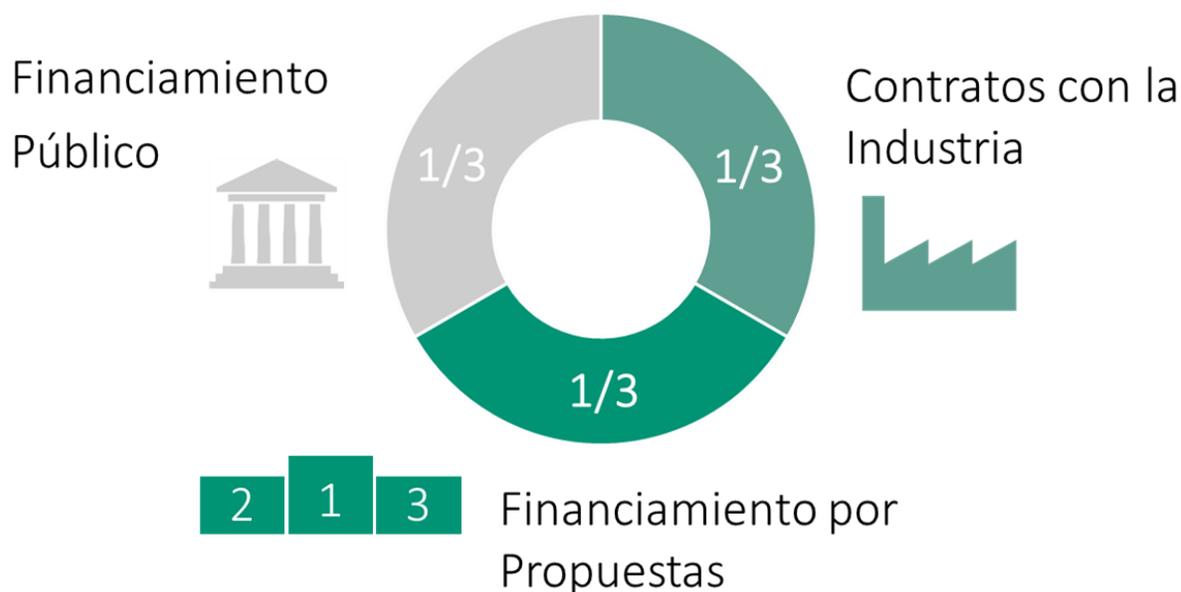


Figura 39 - Modelo de Financiamiento "Tres Tercios" de Fraunhofer-Gesellschaft

Sin perjuicio de lo anterior, CSET persigue objetivos más ambiciosos que la división igualitaria entre los tres tercios, buscando un futuro financieramente sostenible al potenciar los contratos con la industria y el financiamiento complementario a través de propuestas, e intentando dispensar del financiamiento operacional público en un futuro. Para lograr la meta en los años venideros, es indispensable la necesidad de generar estrategias y procesos tanto de captación de clientes y nuevos contratos, como de propuestas a fondos nacionales e internacionales.

1. Estrategia de Financiamiento Complementario

Con el fin de lograr una sostenibilidad financiera, el Centro se encuentra en constante búsqueda de financiamiento, tanto público como privado, nacional e internacional, con el fin de apalancar el portafolio de proyectos. Estos fondos se relacionan principalmente con proyectos CORFO, FIC-Regional, de la Fundación para la Innovación Agriaria (FIA) y FOSIS, o con fondos internacionales como el antiguo Horizon 2020, hoy llamado Horizon Europe. Otro punto relevante por mencionar es la Ley I+D, donde a través de una reducción tributaria por invertir en investigación, se hace más atractivo para la industria la inversión en proyectos que ofrece CSET.

Financiamiento Internacional

Para complementar la búsqueda de sostenibilidad financiera, CSET comenzó a prospectar oportunidades de fondos internacionales a comienzos de esta Fase II. Esto con el objetivo de complementar y expandir el alcance de las actividades para el desarrollo de pilotos y las actividades de transferencia tecnológica. Un análisis completo de las oportunidades internacionales disponibles es llevado a cabo de forma periódica, el cual permite tener un listado actualizado de potenciales fondos dentro de las líneas de trabajo de CSET.

Un gran número de programas internacionales apunta a países en desarrollo, los cuales dejaron de ser

válidos para el caso de Chile. Por el contrario, se destaca la posibilidad de postular a los fondos provenientes de Horizon Europe de la Unión Europea; además de otros “fondos verdes”, como por ejemplo el Joint Crediting Mechanism del Ministerio de Medioambiente de Japón, o el Green Climate Fund de las Naciones Unidas. Si bien las oportunidades están, la gestión es compleja y requieren de proyectos de gran escala, con aplicaciones de mucha complejidad.

2. Actividades y Resultados

Dentro de las iniciativas para el levantamiento de fondos públicos durante la Fase II, se destacan las siguientes a nivel nacional, las cuales ya fueron adjudicadas:

- FIC-R 2017, Urban Farm PV. Si bien fue una convocatoria ganada en el período pasado, el desarrollo de este proyecto fue realizado durante la ejecución de esta Fase II. El concepto consiste en cultivar de forma vertical y en un ambiente controlado, incorporando tecnologías innovadoras que permiten producir alimentos en forma intensiva, contando con un suministro eléctrico que incorpora aportes de energía fotovoltaica, resultando en una alta eficiencia en la producción agrícola durante todo el año.
- FIC-R 2019, Flotante PV. Caso contrario al anterior, fue adjudicado durante esta fase, pero debido a retrasos en la firma de convenio, el inicio del proyecto fue en paralelo al comienzo de la Fase III. Concepto de sistema PV innovador, aprovechando un doble uso de terreno entre generación de energía renovable a través del sistema PV y almacenamiento de aguas para uso agrícola, principalmente. El cubrir estos depósitos con paneles PV trae consigo ciertos beneficios, entre ellos el control de la evaporación del recurso hídrico, y además el agua permite bajar la temperatura de los paneles, aumentando su eficiencia de generación.
- Programa Tecnológico de Pilas de Combustible, Proyecto "Electromovilidad minera mediante celdas de combustible". Liderado por la Universidad Técnica Federico Santa María (UTFSM), CSET forma parte como co-ejecutor en conjunto con la AgenciaSE. Como Co-ejecutores internacionales participan el Centro Nacional del Hidrógeno, CNH2 (España), la empresa Ballard Power Systems Europe (Dinamarca), y Fundación Hidrógeno Aragón. Como asociados se encuentran presentes las empresas mineras Codelco y Sierra Gorda, Bozzo Energy, Ancare Energy y Linde. Como empresas interesadas participan INN, Siemens, Sonami, Aurus Capital de Riesgo y Komatsu. Dicho consorcio trabajará en desarrollar soluciones que logren viabilizar de manera técnica y operativa la adaptación de vehículos de transporte utilizados en minería, desde su actual condición de operación mediante el uso de combustible diésel, hacia una operación mediante celdas de combustibles, reemplazando de esta manera el diésel por Hidrógeno, como una forma de introducir electromovilidad en transporte en Minería.
- Programa de Bienes Públicos Estratégicos, Proyecto "Fortalecimiento de la calidad de sistemas solares industriales de torre mediante la medida de parámetros y estimación de la atenuación atmosférica con enfoque a entornos climáticos desérticos". Liderado por la Universidad de Antofagasta, con CSET, la Universidad de Chile y la Pontificia Universidad Católica como co-ejecutores. El objetivo es mejorar la competitividad de las centrales de concentración de torre, conociendo la atenuación atmosférica en Chile. La financiación es del Programa Solar de Corfo.

Dentro de las oportunidades de financiamiento donde CSET ha postulado, se destacan las siguientes:

- “Wide Spectrum Concentrated Radiation for the Photothermally Assisted Production of Cost-Effective Solar Fuels”, del fondo Horizon 2020 (o H2020) de la Unión Europea. Esta propuesta fue entregada a través de un consorcio conformado por Fraunhofer ISE, la Universidad de Venecia (Italia), la Universidad Xian Jiaotong (China), la Universidad del Sudeste (China), CNRS-

PROMES (Francia), Katholieke Universiteit Leuven (Bélgica), Soliterm Group (Alemania), Saint-Gobain (Francia), Euronovia (Francia) y CSET. El resultado debe estar próximo a su publicación.

- Instituto de Tecnologías Limpias (ITL), CORFO, propuesta rechazada. De acuerdo a su misión de contribuir con ciencia y tecnología aplicada al desarrollo productivo del país, CSET y sus socios integraron la Asociación para el Desarrollo del Instituto Tecnológico (ASDIT), consorcio nacional e internacional formado para participar con una propuesta integral para la gestión y desarrollo del ITL. Junto a CSIRO, CSET era parte de los dos Centro de Excelencia Internacional que ingresaron al consorcio, liderado por Alta Ley y la Asociación de Industriales de Antofagasta (AIA), en el que también participaron 11 universidades chilenas, ocho empresas del sector energético y minero, así como 12 instituciones nacionales e internacionales de investigación, industria y academia.
- Centro de Electromovilidad, CORFO, propuesta rechazada. La empresa participa en un consorcio liderado por la UTFSM, con la participación de UC y otras instituciones y empresas. El Centro presentó propuestas en las siguientes áreas:
 - AUCS (Sistemas Automatizados de Contacto Subterráneo). Propuesta para el desarrollo de un piloto de sistemas de recarga de vehículos comerciales y privados de alta potencia para la carga rápida, especialmente útil en aplicaciones de logística y transporte profesional. Tecnología desarrollada por Fraunhofer IVI y transferida a aplicaciones locales a través de CSET.
 - Gestión de emergencias. Cualificación y formación de equipos de emergencia para responder adecuadamente en caso de accidentes con vehículos eléctricos. Gestión de emergencias, recomendaciones, protocolos, tipo de equipos necesarios. Con el apoyo de Fraunhofer ISE.
 - Trenes eléctricos (líneas no electrificadas de carga-pasajeros). Propuesta para estudiar la conversión a sistemas eléctricos o híbridos en varios sistemas ferroviarios no eléctricos, tanto de pasajeros como de carga, con el apoyo de Fraunhofer IVI, y la colaboración de la Universidad de Talca.
 - Electromovilidad Agrícola. Estudio de viabilidad y diseño piloto para el desarrollo de aplicaciones de electromovilidad en el sector agrícola en Chile, con el apoyo de Fraunhofer IVI, y la colaboración con la Universidad de Talca.
 - Bienes Públicos: Modelos de negocio para la electromovilidad. En conjunto con la Universidad de Talca y la empresa M3E GmbH de Alemania, se propuso un proyecto de Bienes Públicos para desarrollar alianzas como forma de promover la electromovilidad (EM) en el transporte público y privado, flotas confinadas y servicios públicos, entre otros.

Esta propuesta no fue adjudicada, pero se mantienen comunicaciones con el ganador, el Centro de Aceleración Sostenible de Electromovilidad (CASE) liderado por la Universidad de Chile, ya que se ha mostrado interesado en los proyectos presentados por el consorcio de la UTFSM y CSET.

En cuanto a las oportunidades de financiamiento que han sido identificadas y/o se ha empezado a trabajar en sus postulaciones, cabe mencionar:

- Joint Crediting Mechanism, financiamiento internacional provisto por el Ministerio del Medioambiente del Gobierno de Japón.
- Fondos de la Unión Europea: Horizon Europem (anteriormente llamado Horizon 2020 o H20200); Fuel Cells & Hydrogen Joint Undertaking; Low Carbon Business Action. Además, se suma la convocatoria IPCEI (Important Projects of Common European Interest, en inglés), la cual

se está prospectando por iniciativa de la Embajada de Alemania.

- En cuanto a fondos nacionales, el Centro se encuentra a la espera de nuevos FIC-Regionales (Antofagasta y Metropolitana), así como de proyectos de BBPP, en particular en la Región de Antofagasta.
- El Centro se encuentra actualmente participando de dos propuestas a fondos provenientes de ANID del Ministerio de Ciencia. Una liderada por la Universidad de Chile y enfocada al Financiamiento Basal para Centros Científicos y Tecnológicos de Excelencia; y otra liderada por UC, al Instituto Milenio también de ANID.

(Para más información sobre las postulaciones a fondos, ver Anexo 12, “Fondos Públicos”)

4. Transferencia Tecnológica

A través de la Transferencia Tecnológica, CSET da valor a su investigación, a la vez que contribuye con su objetivo del bien común, ayudando a resolver problemas reales y a mejorar la competitividad no sólo de la industria energética local, sino también de diferentes industrias a través de la integración de nuevas fuentes de energía, un mejor aprovechamiento de los recursos disponibles, el fomento de la reducción de emisiones de GEI, y el potenciamiento de una cultura sustentable en los sectores productivos.

CSET fomenta la cooperación entre co-ejecutores y colaboradores, entre el sector público y el privado, para fortalecer la competitividad a través del desarrollo de mejores soluciones, y al mismo tiempo apoyar la descentralización.

En el esfuerzo por definir nuevos procesos y protocolos de Transferencia de Tecnología, y apoyar la comercialización de los proyectos de investigación del Centro, CSET ha definido un Modelo de Vinculación con la industria, dos enfoques para abordar el proceso mismo de transferencia tecnológica, y un estrategia de comercialización que permite definir el alcance de esta. Estas tácticas son descritas a continuación.

4.1. Modelo de Vinculación

CSET opera en un equilibrio dinámico entre la investigación aplicada y los proyectos de desarrollo innovador, manteniendo un rol articulador entre los investigadores, la academia y la industria. De acuerdo con esto, el Centro ha implementado una forma de relación entre ambos mundos, como se muestra en la Figura 40, "Diagrama del modelo de vinculación".



Figura 40 - Diagrama, Modelo de Vinculación

Las tareas de las que se encarga CSET son llevadas a cabo por los líderes e investigadores de las RL y el equipo de Desarrollo de Negocio, todos ellos con una sólida formación académica y técnica, complementando estas capacidades con co-ejecutores y/o socios, así como obteniendo el apoyo de la red de los institutos Fraunhofer en Alemania.

Así, tanto los líderes e investigadores de las Líneas de Investigación como el equipo de Desarrollo de Negocio interactuarán con centros de I+D y universidades, donde se genera el conocimiento básico, con la misión de detectar estas capacidades. A su vez, los Desarrolladores de Negocio, especializados en la detección de necesidades de mercado y líneas de financiación, trabajarán en la vinculación de estas necesidades con las capacidades propias y las identificadas en las universidades y centros de I+D, considerando también los desarrollos existentes en Fraunhofer ISE (u otro instituto Fraunhofer).

Para realizar una transferencia tecnológica efectiva, CSET empaqueta las capacidades en forma de productos o servicios que sean atractivos para las empresas. Una vez validados en la industria, estas tecnologías, productos o servicios son internalizados por el equipo de Desarrollo de Negocios, asegurando su calidad y reproducibilidad.

La Etapa 1 del Modelo de Vinculación de la Figura 40 representa el proceso por el que CSET se dirige a los consumidores finales en la búsqueda de oportunidades para la oferta solar de sistemas PV y solares térmicos.

La Etapa 2 del Modelo de Vinculación corresponde a la definición de la oportunidad, en la que se recoge y recopila toda la información necesaria para construir los Casos de Negocio, con el objetivo de generar la estrategia más adecuada para llevar a cabo el futuro proyecto. Entre las actividades a considerar está la definición de los socios (proveedores intermedios, u otros), esenciales para la implementación de los Casos de Negocio. Parte del esfuerzo en esta etapa consiste en establecer los límites de la oportunidad, tanto en sus aspectos técnicos como económicos, para evaluar la consistencia técnica de la solución y la viabilidad económica de su implementación.

Durante la etapa 3 del Modelo de Vinculación se genera la estrategia para abordar la oportunidad y crear ofertas de valor preliminares para los proveedores intermedios y los consumidores finales. Una vez definida la oportunidad en sus aspectos económicos y técnicos, se diseña la estrategia para llevarla a cabo, considerando la definición de los patrocinadores y las competencias y fortalezas que poseen para completar la solución. Es un aspecto clave la identificación de los socios industriales adecuados, para generar confianza y fiabilidad frente al cliente final. En general, las empresas chilenas son conservadoras frente a las nuevas tecnologías, más aún cuando están relacionadas con sus procesos de negocio principales. Cuando una nueva tecnología viene con el apoyo o respaldo de uno de sus proveedores habituales, este proceso se ve facilitado al generar mayor confianza a ojos del cliente.

Por último, la etapa 4 del Modelo de Vinculación corresponde a la materialización del negocio. En esta etapa, tanto la solución tecnológica como el potencial de impacto económico adquieren relevancia, ya que no sólo deben ser positivos, sino que deben generar el interés suficiente para motivar la profundización técnica mediante un acuerdo piloto, la validación o la comercialización.

El Modelo de Vinculación diseñado es consistente con los objetivos del Centro y su estrategia, considerando para cada nueva oportunidad la necesidad de tener una visión global del mercado, la solución u oportunidad, y las condiciones de negociación para la transferencia. Los tomadores de decisiones buscan tener una cartera de proyectos que les permitan tomar decisiones en un tiempo breve, priorizando, posponiendo o descartando oportunidades (según atractivo, plazos, costos, viabilidad técnico-económica-legal), y buscando el retorno de la inversión.

El equipo de Desarrollo de Negocios es consciente de estos temas, buscando constantemente estas nuevas tecnologías las cuales pueden ser apoyadas por CSET, generando negocios para el Centro en Chile y Latinoamérica. Este equipo busca oportunidades de creación de valor, a través de la Transferencia Tecnológica, donde los desarrollos del ISE puedan ser aplicados en Chile.

Desde el punto de vista del proceso de vinculación, es necesario que la dinámica general tenga un ritmo que permita plantear y evaluar continuamente nuevas oportunidades, junto con el seguimiento de éstas, hasta la firma de acuerdos de transferencia y/o colaboración.

Como parte de la estrategia de vinculación, se considera clave el plan de marketing, es decir, contar con una metodología que apoye constantemente la creación y distribución de contenidos relevantes para los clientes y potenciales clientes con el objetivo de atraerlos a la empresa y conectar con ellos. El estar más posicionados en el ecosistema nacional e internacional, permite al Centro ser conocidos de antemano por los potenciales clientes, haciendo más fluido el proceso de vinculación.

4.2. Modelo de Transferencia Tecnológica - Enfoque teórico

A lo largo de la elaboración del Plan de Negocio, CSET evidenció la coexistencia de dos tipos de tecnologías, aquellas que satisfacen una necesidad de mercado pero que no han tenido una contraparte empresarial desde el inicio de su etapa de I+D, donde se adopta una metodología de "Technology Push"; y las tecnologías desarrolladas con socios empresariales desde el inicio de las etapas de I+D, donde el proceso de transferencia de tecnología se guiará necesariamente por una metodología de "Market Pull". Los proyectos que contempla CSET podrán ajustarse a estos tipos de tecnologías, siendo necesario definir para cada una de ellas un modelo de transferencia que se ajuste a sus características, con el objetivo final de lograr con éxito su transferencia.

4.2.1. Technology Push

La existencia de un pipeline de proyectos con diferentes fases de desarrollo definirá necesariamente procesos de transferencia tecnológica de diferente naturaleza. Sin embargo, si las tecnologías no han sido desarrolladas en conjunto con los clientes finales, seguirán un modelo común, centrado principalmente en una estrategia de Technology Push. Con el fin de reducir la incertidumbre técnica y comercial, y llegar al mercado, se consideran las siguientes etapas:

- Evaluación científica y de mercado actualizada, cuyo objetivo es determinar la validez de la solución desarrollada y su competitividad a medio plazo. Para los casos que sean positivos, se realiza un *due diligence* que considera los aspectos regulatorios y normativos, necesarios para permitir un correcto acceso al mercado.
- Diseño conceptual de los modelos de negocio, para compatibilizar los intereses de la industria y definir actores relevantes que pueden aparecer como socios, colaboradores o clientes. En esta etapa se considera la asesoría del Industrial Advisory Board y Scientific Advisory Board, miembros del directorio y destacados empresarios.
- Prospección de potenciales clientes, que pueden derivar en licenciarios de la propiedad intelectual, usuarios de la tecnología o co-desarrolladores para llegar al mercado.
- Valoración económica de la tecnología, CSET ha implementado un proceso de evaluación, diferenciado por riesgo, para definir la metodología de valoración de las tecnologías en desarrollo. Para los proyectos con mayor incertidumbre, se utilizarán métodos como “Real Option Valuation” (ROV) o árboles de decisión; para las tecnologías más desarrolladas que se enfrentan a una menor incertidumbre, se abordarán con técnicas tradicionales como el VAN.
- Definición de las condiciones límite de negociación, con la información recogida en los puntos anteriores, CSET define los escenarios de negociación que serán aceptados a favor de la salida de una tecnología al mercado. Las condiciones de negociación estarán condicionadas por el estado de desarrollo en el que se encuentre.
- Negociación con socios industriales para la adopción de la tecnología, a través de reuniones con los responsables de la toma de decisiones (Directivos/Alto nivel) de las empresas que, bien por razones técnicas, económicas, de imagen, u otras, estén dispuestas a adoptar la solución o a realizar las inversiones necesarias para avanzar en su desarrollo tecnológico.

4.2.2. Market Pull

Para las iniciativas en curso y potenciales proyectos, CSET ha adoptado un enfoque de

relación continua con los principales actores de los sectores industriales de las empresas de distribución de electricidad, agroindustria, asociaciones comerciales, entre otros. Esta relación permanente con empresas y autoridades ha permitido a CSET proponer proyectos de codesarrollo, en los que los procesos de Propiedad Intelectual y transferencia tecnológica han sido parametrizados al inicio de las etapas de I+D.

Las negociaciones que se realizan con empresas nacionales e internacionales que operan en Chile han permitido a CSET adaptar su Modelo de Transferencia a las necesidades de los clientes. La experiencia acumulada por CSET le permite agrupar los siguientes mecanismos de transferencia tecnológica y despliegue comercial:

- Explotación directa de la Tecnología por el cliente. En este modelo, las etapas de I+D serán realizadas por CSET y los pasos finales de validación industrial, acceso al mercado y comercialización serán realizados directamente por las empresas cuando la tecnología forme parte de su Core Business. En este tipo de proyectos CSET establece desde el principio las cláusulas de Propiedad Intelectual (IP, por su sigla en inglés), en las que hay dos escenarios principales, (a) CSET es propietario de la IP y se entrega una licencia exclusiva al cliente a cambio de royalties o (b) propiedad compartida de la IP con la empresa cuando hay aportación intelectual de los especialistas de la empresa, en estos casos se definen los parámetros de royalties una vez que la empresa implanta la solución, pero donde también se da libertad a CSET para buscar futuras oportunidades de negocio en otros sectores industriales.
- Explotación indirecta de la tecnología en modo colaborativo. Este tipo de transferencia tecnológica se da cuando las empresas buscan el desarrollo de soluciones tecnológicas de Fraunhofer en áreas que afectan a sus procesos o estrategias, pero que no necesariamente forman parte del Core Business de estas empresas; por ejemplo, en la industria minera, se puede requerir el calentamiento de fluidos en diferentes procesos, donde solicitan a CSET la evaluación de tecnologías existentes que respondan a sus necesidades, entre las que podrían considerarse sistemas térmicos tradicionales, sistemas térmicos de concentración de potencia, u otros. Misma situación con las tecnologías de hidrógeno, como potencial sustituto del gasóleo u otros combustibles fósiles en procesos no críticos. En estos casos, la estrategia es entregar una solución tecnológica a la empresa cliente, definiendo también los mecanismos en que la innovación será transversal a otros actores con problemas similares.

Las alternativas de negociación a considerar pueden ser (a) creación de una Joint Venture entre el cliente y CSET, con opción de participación de terceros que contribuyan a la comercialización nacional e internacional de la innovación; (b) búsqueda conjunta entre CSET y el cliente de un licenciatario final donde los royalties se distribuyan equitativamente, (c) creación de una spin-off con participación minoritaria de CSET y del cliente, con apoyo en la búsqueda de demanda industrial (principalmente cuando el cliente es una gran empresa).

4.3. Comercialización

Dado que la comercialización de productos validados y empaquetados no forma parte del rol de CSET, y en línea con lo mencionado anteriormente, la etapa final de comercialización para el sector privado estará guiada por la estrategia de transferencia tecnológica mencionada en la sección anterior, ya sea a través del Technology Push en el caso de soluciones desarrolladas desde la I+D pura, y a través de la estrategia Market Pull en proyectos realizados de forma conjunta con el sector privado. Una opción de herramienta de comercialización corresponde a la licencia de tecnologías propias. También se considerarán casos especiales cuando se justifique la creación de una spin-off u otras alianzas que constituyan vehículos de comercialización con empresas. Pero en general, la experiencia de CSET muestra que el principal papel que puede cumplir el Centro en el mercado chileno es el de los procesos de transferencia y adaptación de tecnología, siguiendo el proceso anteriormente descrito: identificación de oportunidades industriales, y desarrollo de las alianzas adecuadas.

En el caso del sector público, la adopción de normas de funcionamiento y la identificación de brechas y oportunidades que permitan el uso de tecnologías, que tienen un claro bien público, han sido parte de diferentes proyectos de articulación que CSET ha realizado, o en los que está participando, y que han sido puestos a disposición del sector público para diseñar políticas e iniciativas enfocadas a sectores industriales específicos, por ejemplo, "Plataforma de Innovación Abierta Solar - BRILLA" adjudicada por la Fundación Chile y donde CSET fue co-ejecutor técnico, y "Corredor Solar Cuenca del Salado", que busca contribuir al desarrollo de proyectos de generación distribuida fotovoltaica en Chile a través del conocimiento de costos, beneficios, impactos, medidas de mitigación, y metodologías de análisis, todo ello debido a la falta de experimentación científico-tecnológica en la materia, y a la posible existencia de un marco regulatorio inadecuado.

Asimismo, dentro de los proyectos promovidos por el sector público y que buscan impactar en la competitividad de los sectores económicos de las regiones, se han realizado en el pasado alianzas para llevar a cabo proyectos FIC (Fondo de Inversión para la Competitividad del Ministerio de Economía). Estos proyectos han permitido la transferencia de tecnologías, haciendo visible el impacto en las industrias, demostrando así que el uso de las tecnologías de CSET (Sistemas Fotovoltaicos y Sistemas Solares Térmicos) generan mejoras en el uso de los recursos, se adaptan a la operación de las plantas productivas, y tienen un impacto directo en la competitividad económica de las empresas, reduciendo además su huella de carbono. CSET mantiene estas alianzas y sigue reforzándolas en el tiempo.

5. Fraunhofer ISE y Transferencia Tecnológica desde Alemania

En cuanto a la transferencia tecnológica desde Alemania, se ha profundizado en el vínculo con Fraunhofer ISE, con el fin de ampliar las aplicaciones innovadoras de la energía solar en áreas de doble uso del suelo, como la Agrovoltaica, los invernaderos con sistemas PV, y el Flotante PV. Para el caso del concepto Agrovoltaico, el apoyo ha estado relacionado con la ampliación del campo potencial de aplicación hacia el uso industrial del concepto, desarrollando un modelo estandarizado que podría aplicarse a varios tipos de cultivos, en diferentes ubicaciones y tamaños de planta.

También se ha intensificado la colaboración en el campo del Hidrógeno, en sus áreas de producción a partir de electrólisis, aplicaciones en pilas de combustible y sus diversos usos en el transporte, como sustitución de combustibles fósiles, y como insumo para la producción de elementos químicos de uso masivo, como el amoníaco. En este campo, el proceso de transferencia tecnológica se ha extendido al área de los combustibles sintéticos, generados a partir del Hidrógeno Verde y del CO₂ capturado de fuentes industriales o del aire (Direct Air Capture, DAC). Esto representa un proyecto de transición eficiente potencialmente interesante para transformar los sistemas de transporte a procesos sin emisiones, o neutros en carbono.

La red Fraunhofer en Alemania va más allá de solo ISE. Se destaca el vínculo establecido con [Fraunhofer IVI](#), con sede en Dresde. IVI está especializado en sistemas de transporte, donde CSET participó activamente con 4 propuestas de proyectos dentro de la postulación del Consorcio de Electromovilidad, liderado por la UTFSM y UC. Entre las tecnologías en proceso de transferencia propuestas por el Consorcio de Electromovilidad, destacan el pilotaje de sistemas de recarga rápida para vehículos eléctricos comerciales y residenciales de alta potencia, la electromovilidad en la agricultura y el desarrollo de trenes eléctricos y/o híbridos, como opción para desplazar el uso del diesel en líneas ferroviarias no electrificadas. Adicionalmente, se han intensificado las redes de colaboración con [Fraunhofer IEE](#) (redes eléctricas, modelos energéticos, integración de energía solar a gran escala), [Fraunhofer IFF](#) (automatización de procesos y optimización de plantas), y [Fraunhofer UMSICHT](#) (tecnologías complementarias de Hidrógeno y Electromovilidad), y Fraunhofer IIS (IoT, Industria 4.0).

El proceso de transferencia de las diferentes tecnologías descritas anteriormente se ha iniciado con mayor intensidad a fines de la fase, por lo que se encuentra aún en proceso de consolidación, y se espera que adquiera mayor potencial y peso durante la Fase III. De hecho, estas tres áreas principales: Agrovoltaica (parte de las aplicaciones fotovoltaicas innovadoras), tecnologías del Hidrógeno Verde y electromovilidad, apoyarán la mayor parte de las principales actividades transversales previstas para la Fase III, dado que están fuertemente alineadas con las claras tendencias observadas en el camino que Chile (y el mundo) está siguiendo hacia el desarrollo de una economía verde.

Otra iniciativa que ya está en el radar es el Programa de Movilidad Internacional Fraunhofer, el cual se centra en los empleados de Fraunhofer en Alemania en todos los niveles de carrera y en todas las áreas de trabajo, apoyando estadías de entre 8 y 24 semanas, con el objetivo de contribuir a la creación de conocimientos, contactos e ideas de proyectos que beneficien a todos los socios involucrados, cofinanciado por la Casa Matriz de Fraunhofer, ubicada en Múnich. Hasta la fecha se han concedido 29 estadías en 16 países. 18 participantes eligieron como anfitrión a universidades y organizaciones de investigación extranjeras, mientras que 11 participantes eligieron las filiales extranjeras de Fraunhofer alrededor del mundo.

5.1. Transferencia Tecnológica, Actividades y Resultados

En el área del concepto Agrovoltaico, el apoyo de Fraunhofer ISE ha estado relacionado con la extensión del potencial de aplicación hacia el uso industrial del concepto, desarrollando un modelo estandarizado que podría aplicarse a varios tipos de cultivos, en diferentes ubicaciones, y diferentes tamaños de plantas. Se está desarrollando una aplicación especial para el uso del concepto Agrovoltaico en condiciones desérticas de alta radiación para el norte de Chile.

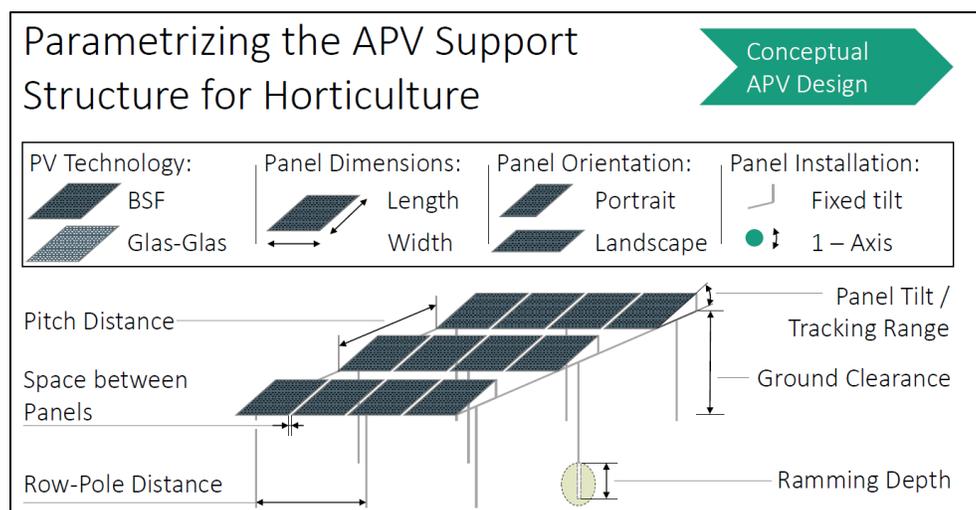


Figura 41 - Parametrización de la estructura del concepto Agrovoltaico

Como se ha mencionado anteriormente, también se ha intensificado la colaboración en el campo del hidrógeno, en específico el Hidrógeno Verde en sus áreas de producción a partir de la electrólisis, por ejemplo, y otras a lo largo de su cadena de valor. En general, CSET, a través de Fraunhofer ISE, ha comenzado a prospectar en toda la cadena de valor, desde su producción a partir de ERNC, hasta su uso en toda la gama de aplicaciones Power-to-Hydrogen o Power-to-Liquid, como se muestra en el siguiente gráfico:

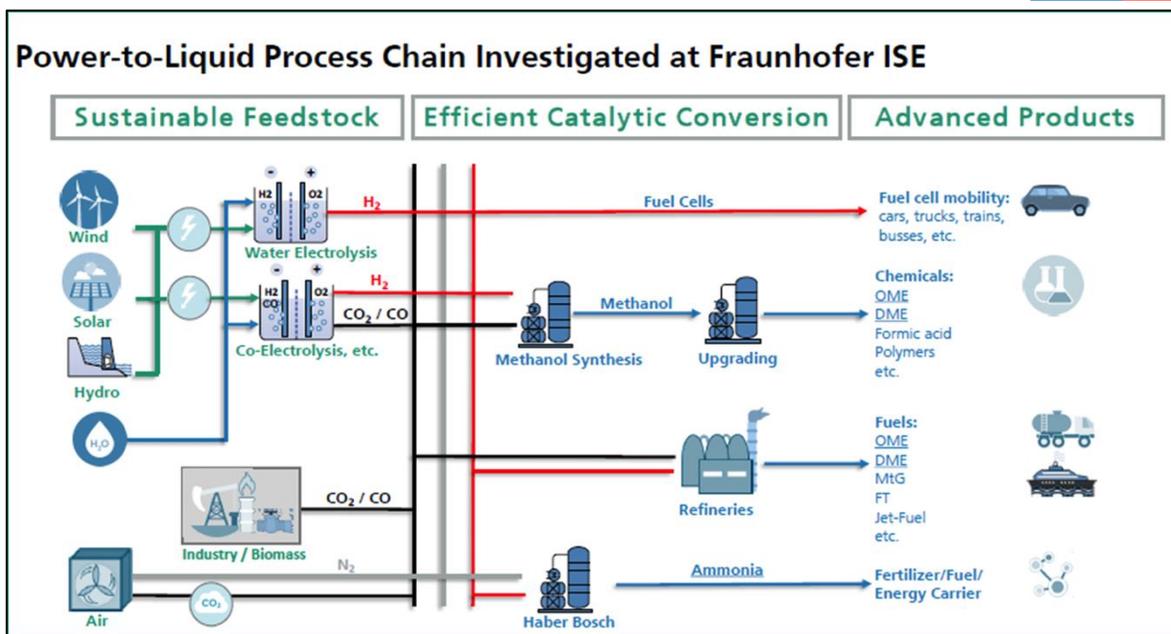


Figura 42 - Cadena Power-to-Liquid, investigada en ISE

Si bien el concepto Power-to-Hydrogen abarca desde la generación a través de energías renovables hasta el producto final en forma de Hidrógeno Verde, existe también el potencial de desarrollar combustibles sintéticos, generados a partir de Hidrógeno Verde y CO₂ capturado de fuentes industriales o del aire (DAC). Este concepto más amplio de los potenciales de la cadena de valor del hidrógeno es llamado Power-to-Liquid. Uno de sus objetivos es producir DME (dimetil éter) y/o OME (oximetil éter), a partir de una primera etapa que produce Metanol (CH₃OH). El DME y el OME pueden utilizarse como combustibles sintéticos, sustituyendo total o parcialmente al diesel y/o a la bencina en los motores de combustión estándar, con modificaciones no intensivas, por lo que representan un proyecto de transición eficiente potencialmente interesante para llevar los sistemas de transporte a procesos sin emisiones, o neutros en carbono.

Por último, siguiendo el área de las tecnologías de hidrógeno, es importante destacar el contacto inicial con una iniciativa en la que Fraunhofer ISE juega un papel relevante en Alemania, el proyecto 'Carbon2Chem'. Esta iniciativa busca desarrollar la síntesis de metanol, como materia prima para combustibles, plásticos y fertilizantes, basada en la Captura de Carbono y la producción de Hidrógeno Verde. El potencial es interesante para Chile, combinando el Hidrógeno Verde proveniente de la energía solar y/o eólica, con el carbono capturado de grandes procesos industriales, como las refinerías de cemento, cobre o hierro. El esquema del concepto es el siguiente:

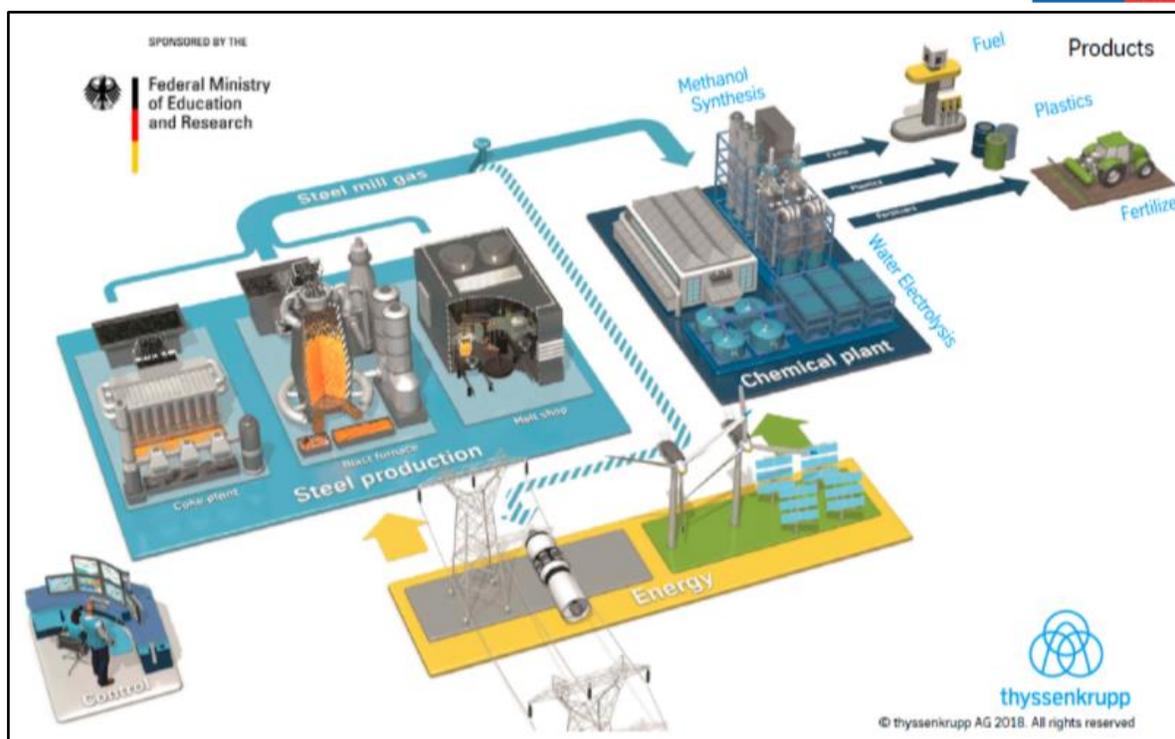


Figura 43 - Vista sistemática del concepto Carbon2Chem

Aparte de las tecnologías y el conocimiento ligado al hidrógeno, hay otras tecnologías específicas con interesante potencial de transferencia a Chile, basadas en los desarrollos de Fraunhofer IVI en temas de electromovilidad:

- Sistema automatizado de carga por debajo del suelo (Autonomous Underbody Charging System, AUCS): Sistema de contacto automatizado, de alta potencia, de 1 MW (turismos) y 2 MW (vehículos utilitarios), para la carga rápida en aplicaciones específicas de Electromovilidad. Estudio para diseño y prototipado en aplicaciones en Logística y otros casos de uso. El estudio incluye el concepto de seguridad, los proyectos de adaptación y el diseño y las pruebas con diferentes categorías de vehículos.



Figura 44 - Prototipo AUCS

- Electromovilidad en la agricultura: Fraunhofer IVI trabaja en varias aplicaciones para desarrollar y probar robots automatizados y electrificados para su uso en la agricultura. Esta iniciativa representa una interesante extensión del concepto

Agrovoltáico. En Alemania, IVI se encuentra desarrollando máquinas electrificadas y autónomas para uso agrícola, vehículos utilitarios y con otras aplicaciones. Esto representa una tecnología que ya se encuentra en estudios en CSET para analizar y adaptar el concepto al sector agrícola chileno.



Figura 45 - Prototipos de electromovilidad en agricultura

En febrero de 2020, el Director del Centro, Frank Dinter, viajó a Alemania para reunirse con el Prof. Dr. Alexander Michaelis, Director del Fraunhofer IKTS (Instituto de Tecnologías y Sistemas Cerámicos). El IKTS trabaja en temas de tratamiento de aguas, nanotecnología y pequeñas celdas de combustible. La visita demostró que otros institutos Fraunhofer también pueden y están dispuestos a apoyar en soluciones de investigación aplicada para el mercado chileno.

Además, y en línea con la tecnología del hidrógeno, Frank Dinter visitó el departamento de hidrógeno de Fraunhofer ISE para obtener una mejor visión sobre la investigación que están trabajando actualmente y cómo podrían apoyar la hoja de ruta de la energía chilena con sus conocimientos.



Figura 46 - Prof. Dr. Frank Dinter in una estación de hidrógeno. Friburgo, Alemania

Transferencia de conocimiento al ecosistema nacional

Por otro lado, junto con la transferencia tecnológica desde Alemania, está el proceso de transferencia de conocimientos desde CSET a estudiantes y profesionales. CSET participa activamente de conferencias, seminarios (o webinars durante la pandemia), charlas y talleres, pudiendo ser organizados por el Centro mismo o bien mediante otros actores del

ecosistema nacional e internacional. Dentro de esta categoría se destaca el evento mencionado en secciones anteriores, Drink Solar, el cual tuvo como objetivo fomentar el uso de tecnologías renovables en los procesos industriales de la industria de alimentos y bebidas. Además, CSET ofrece como parte de sus servicios capacitaciones a profesionales en temáticas relativas a sistemas PV y sistemas solares térmicos. En relación a este último punto, al momento de redactar este informe se mantienen conversaciones con el Gobierno Regional de Antofagasta para prospectar la oportunidad de realizar capacitaciones en la región sobre temas de CSP.

En cuanto a la transferencia en el sector académico, el Director del Centro, el Prof. Dr. Frank Dinter, se encuentra realizando cátedras en la Universidad de Chile desde agosto de 2020, a estudiantes de licenciatura y postgrado de la Escuela de Ingeniería Mecánica, en temas de aplicación de la Energía Solar Térmica. Además, realiza constantes presentaciones en conferencias sobre temas de su especialidad.



Figura 47 - Invitación a charla de Prof. Dr. Frank Dinter en la Universidad de Chile



Figura 48 - Cátedra online sobre Sistemas Solares Térmicos para estudiantes de ingeniería

Además, como se mencionó anteriormente, tanto Marco Vaccarezza como María Teresa Cerda de CSET forman parte del Diplomado "Tecnologías Aplicadas en Hidrógeno Verde" de la UTFSM, impartiendo temas relacionados con el Mercado del Hidrógeno Verde a nivel mundial. Este Diplomado comenzó a fines de 2020 y se prevé su término para julio de 2021.



**UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA**

Diploma en Tecnologías Aplicadas de Hidrógeno Verde

<p>Módulo 1 20 hrs. Producción y almacenamiento de hidrógeno verde</p> <p> Dr. Patricio Valdivia  Dra. Alejandra Tello</p>	<p>Módulo 2 10 hrs. Innovación y vigilancia tecnológica de hidrógeno verde</p> <p> Dra. Ivette Ortiz</p>	<p>Módulo 3 20 hrs. Hidrógeno como vector energético en proceso mineros</p> <p> Dr. Claudio Acuña  Dra. Aldonza Jaques</p>	<p>Módulo 4 20 hrs. Uso de hidrógeno en procesos térmicos y combustión</p> <p> Dr. Mario Toledo  Dr. Rodrigo Barraza</p>
<p>Módulo 5 20 hrs. Evaluación ambiental de proyecto de H2 en Chile</p> <p> MBA Rossana Gaete Directora H2 Chile</p>	<p>Módulo 6 12 hrs. Pilas de combustible - FC</p> <p> Dr. Antonio Sanchez</p>	<p>Módulo 7 12 hrs. Mercado del hidrógeno Verde</p> <p> MBA Marcos Vaccarezza  M.Sc. María Teresa Cerda Fraunhofer Chile</p>	<p>Módulo 8 16 hrs. Regulación en torno al hidrógeno verde</p> <p> MEE Javier Saldias  M.Sc. Natalia Fernández</p>



Claudia Paredes
Coordinación general Diploma
claudia.paredes@usm.cl



Dr. Patricio Valdivia Lefort
Director Diploma
patricio.valdivial@usm.cl

Figura 49 - Diplomado "Tecnologías Aplicadas de Hidrógeno Verde", UTFSM

6. Propiedad Intelectual

6.1. Estrategia de Protección de IP

FCR cuenta con una estrategia de protección de la propiedad intelectual que proviene del Departamento de Patentes y Licencias de Fraunhofer-Gesellschaft, Alemania. Estos conocimientos fueron transferidos al personal de FCR y al equipo de CSET mediante reuniones de formación durante la Fase II.

Este enfoque depende del tipo de tecnología que se desarrolle. Antes de solicitar una patente, hay que realizar algunas evaluaciones, como el valor económico, la concesión de licencias y una evaluación completa del mercado. Además, deben cumplirse algunos requisitos previos para ser patentable: la invención debe tener carácter técnico, debe ser novedosa, debe basarse en una actividad inventiva y debe ser aplicable industrialmente.

Para estudiar la novedad de la tecnología se debe realizar un estudio del Estado del Arte, analizando la literatura de patentes, la literatura no relacionada con las patentes (revistas científicas, documentos, informes anuales, entre otros) y las publicaciones. Para el siguiente paso, la redacción de la solicitud de patente se debe realizar a través de un abogado con experiencia en IP o un bufete de abogados, con al menos las siguientes actividades a desarrollar:

- Un abogado con conocimiento en IP redacta la solicitud de patente sobre la base de la descripción técnica del informe de la invención, en estrecha colaboración con el inventor o inventores, o bien el equipo de la línea de investigación implicado.
- El abogado generalizará la invención para alcanzar un amplio alcance de protección mediante la solicitud de patente.
- El borrador se revisará varias veces antes de presentar la solicitud.

Para el caso de las solicitudes extranjeras, es necesario cumplir algunos criterios para optar a gestionar la patente en esas zonas. Algunas variables por estudiar se mencionan a continuación:

- Lugares de uso y consumo
 - Producto interior bruto
 - Tamaño del mercado
 - Aceptación de productos y tecnologías
 - Reglamentación del mercado
 - Posibilidad de comercialización
- Lugares de producción
 - Distribución de la industria
 - Lugares de producción
 - Restricciones de producción

Para garantizar una patente de calidad, la solicitud debe incluir un amplio ámbito de protección de la tecnología, además de que la invención en torno a la tecnología debe ser compleja para asegurar que no sea fácil desplazar la invención. Una vez enviada la solicitud de patente, algo importante es el seguimiento de cualquier infracción de la patente que pueda existir, realizando una vigilancia continua de cualquier amenaza a la IP protegida. Otra reflexión crítica durante la solicitud de una patente es que la tecnología no debe depender de los derechos de terceros, lo que podría condicionar una adecuada protección de la IP.

Aun siguiendo todos los pasos descritos con anterioridad no se asegura una protección completa de la IP, hay algunas amenazas a las patentes que hay que tener en cuenta, como, por ejemplo, no tener libertad para operar en el país donde se patenta, compromisos contractuales no deseados, disputas entre los inventores, oposiciones de los competidores y procedimientos de limitación y revocación. Una vez obtenida la patente y cumpliendo las indicaciones mencionadas, el inventor puede comercializarla, prohibiendo la producción del producto patentado y la utilización del procedimiento patentado por parte de terceros, y concediendo los derechos para ofrecer, circular, utilizar y poseer los productos y procedimientos patentados.

6.1. Propiedad Intelectual, Actividades y Resultados

Además de la estrategia para abordar la protección de la IP, se incluyó una cláusula en el contrato con las empresas en el marco de un servicio de investigación, para dar una protección extra a cualquier desarrollo que surja del trabajo realizado. (Esta cláusula puede verse en el Anexo 10, "Cláusula IP").

Hasta el momento, CSET está en proceso de solicitud de patente para el trabajo conjunto con el co-ejecutor UC en el proyecto "Preparación de membranas superhidrofóbicas compuestas por NPs@PVDF y soportadas sobre poliéster no tejido, para el tratamiento de aguas", incluido dentro de la Línea de Investigación 2 - Sistemas Solares Térmicos. (Para más información, consultar el Anexo 6, "Proyectos UC", capítulo "Preparación de membranas superhidrofóbicas compuestas por NPs@PVDF y soportadas sobre poliéster no tejido, para el tratamiento de aguas").

7. Redes Nacionales e Internacionales

7.1. Estrategia de Networking

El *Networking* debe estar en línea con el compromiso de transferir de conocimiento a la comunidad chilena y las actividades de difusión realizadas por CSET. El Centro impartió numerosos seminarios abiertos y gratuitos durante la Fase II con la participación de público, privado y académico, vinculados al ecosistema de la energía solar a nivel nacional e internacional, y enfocados a las demandas de la industria, mejorando su competitividad y sostenibilidad al incorporar soluciones basadas en la energía solar a sus procesos. CSET ha identificado los problemas que afectan a las plantas solares térmicas y fotovoltaicas en su rendimiento. Como resultado, el Centro va a seguir trabajando con los sectores público y privado en la investigación aplicada para obtener soluciones a medida en Chile y América Latina.

En cuanto a la estrategia de transferencia de conocimiento, para asegurar y fortalecer la conexión de CSET y Fraunhofer ISE con el ecosistema solar en Chile, se continúa trabajando en tres pilares: transferencia de conocimiento de Fraunhofer ISE a CSET, transferencia de conocimiento a instituciones públicas/universidades, y transferencia de conocimiento a instituciones privadas/industria.

Así, CSET y Fraunhofer ISE, durante la Fase II, han colaborado y trabajado conjuntamente, a través del intercambio de experiencias y conocimientos gracias a internados de colaboradores de CSET en ISE y a las visitas de responsables de ISE en temas como el Hidrógeno Verde, los sistemas Agrovoltaicos, las tecnologías de paneles PV bifaciales, la sociedad, entre otros. Hacia finales de 2019, CSET e ISE comenzaron a trabajar adicionalmente en Programas Estratégicos, con el objetivo de realizar estudios de mercado que les permitan explorar conjuntamente los mercados potenciales, donde se requiere más investigación y desarrollo aplicado.

Con el apoyo de CSET, se articuló una propuesta presentada a la convocatoria de SFERA (Solar Facilities for the European Research Area, llamado de Fraunhofer ISE para el acceso a sus laboratorios) por el Dr. Alain Tundidor de la UC, para viajar a Fraunhofer ISE en Friburgo, Alemania, con el fin de realizar ensayos con membranas desarrolladas en la Fase I del Centro. Esta pasantía se realizó en diciembre de 2019. A su vez, el proyecto desarrollado por el Dr. Rodrigo Escobar ha permitido la colaboración entre los equipos, tanto en temas de almacenamiento térmico como de simulación de producción de vapor solar. Las mejoras en la colaboración entre CSET y el co-ejecutor UC han permitido la presentación de proyectos conjuntos a privados.

El investigador del Fraunhofer ISE Joachim Koschikowski, que trabaja en el desarrollo e identificación de proyectos centrados en el tratamiento de aguas y el proceso del litio, durante su visita a CSET participó en un seminario organizado por el profesor Rodrigo

Escobar (UC), principal investigador de la UC en CSET.

Lamentablemente, debido a la pandemia de COVID-19 que afecta al mundo, durante el año 2020 se suspendió cualquier interacción presencial en FCR, ISE y otros, dándose prioridad a las reuniones virtuales, cuando así se requería. Sin embargo, el Director del Centro, el Prof. Dr. Frank Dinter, pudo viajar a Alemania dos veces a lo largo del año para reuniones de estrategia en las instalaciones de Fraunhofer de Friburgo y Múnich.

Redes Internacionales

La creación de redes y sinergias en la Fase II refuerza los vínculos actuales con las instituciones con las que se han establecido alianzas de cooperación. Una parte clave de este esfuerzo de creación de redes internacionales es el desarrollo dentro de los institutos Fraunhofer en Alemania, generando acuerdos de colaboración para la investigación en áreas prioritarias.

Centrado en las líneas de investigación de CSET, el Centro busca socios internacionales complementarios a Fraunhofer ISE, ya que éste no cubre completamente las competencias requeridas (por ejemplo, los procesos de altas temperaturas). También hay otros temas con un alto potencial en la industria en los que Fraunhofer ISE tiene experiencia o antecedentes, pero para los requisitos específicos de aplicación en Chile, CSET requiere experiencia complementaria, como por ejemplo en electromovilidad y sistemas de transporte, ciudades inteligentes y aplicaciones de redes inteligentes. En este caso, se puede encontrar experiencia adicional o complementaria en otros Institutos Fraunhofer, dentro de la red Fraunhofer, o en otros centros de investigación. Un ejemplo en este sentido podría encontrarse en el caso de Fraunhofer Fokus, con sede en Berlín, instituto dedicado a los sistemas de comunicación abiertos, que actualmente trabaja en varias iniciativas que pueden ampliar el trabajo en campos relacionados con las Smart Cities, Smart Grids, Internet of Things, entre otros temas.

También el networking con otros centros de investigación y universidades de otros países ayuda a obtener experiencia y capacidades complementarias para poder ofrecer localmente soluciones completas a problemas complejos. CSET ya tiene alianzas y colaboraciones que ha mantenido en el tiempo:

- Universidad de California, Berkeley, Estados Unidos
- AEE-Intec, Austria
- Cyted-PSA (Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo)
- IMDEA, España
- Universidad de San Diego, Estados Unidos
- CEA-INES, Francia
- Centro de Investigación Científica del Estado de Yucatán, México
- ISC Konstanz, Alemania
- Solare Prüfanstalt Rapperswil SPF, Suiza

- Universidad Federal de Santa Catarina, Brasil

La utilización de la Fraunhofer-Gesellschaft como institución de apalancamiento de redes forma parte de esta estrategia. Si se necesitan conocimientos técnicos específicos y no están presentes en Fraunhofer, las amplias redes en las que participa Fraunhofer representan una forma potencial de encontrar las capacidades complementarias necesarias.

Es interesante mencionar la creación de redes y la colaboración a nivel latinoamericano. Otros países de la región, como Argentina, Brasil y Perú, tienen un potencial interesante en materia de energía solar, y han estado desarrollando e implementando estrategias nacionales en esta dirección. El trabajo en red con instituciones como la Universidad Federal de Santa Catarina, en Brasil, representa un primer paso interesante en la ampliación de las actividades a nivel regional, ayudando a extender la actividad de CSET en el resto del continente.

Redes Nacionales

De igual manera, CSET ha desarrollado una red de colaboración a nivel nacional, la cual dio lugar a varias iniciativas y proyectos conjuntos interesantes, de los cuales cabe mencionar:

- Colaboración con SERC Chile, grupo de investigación liderado por la Universidad de Chile y con la participación de varias universidades chilenas relevantes.
- CSET forma parte del programa tecnológico ATAMOSTEC (componentes solares diseñados para condiciones de alta radiación UV).
- CSET, junto con la Universidad Católica, fue incluido en la Fase II del consorcio SERC.
- Colaboración con la Universidad de Antofagasta, para el trabajo conjunto en la iniciativa PSDA, (Plataforma Solar del Desierto de Atacama).

Para la Fase II, la estrategia ha sido buscar socios conocedores de los procesos de la industria chilena, con el fin de ampliar las capacidades internas de CSET en energía solar, y poder entregar soluciones completas e integrales a industrias como la Minería y la Agricultura.

7.2. Redes del Ecosistema, Actividades y Resultados

A través del desarrollo de la fase, CSET ha ampliado su ámbito de asociaciones y alianzas, a nivel nacional e internacional. Además de estar situado entre FCR, la Universidad Católica (UC) y Fraunhofer ISE, CSET ha desarrollado su red con todo tipo de organizaciones en diferentes campos de trabajo y lugares.

Para resumir el alcance de CSET a nivel mundial, a continuación, se menciona una lista de alianzas, asociaciones y colaboraciones destacadas, divididas según el tipo de organización, iniciativa o relación entre CSET y ellas.

Asociaciones Industriales

- ACERA, Asociación Chilena de Energías Renovables y Almacenamiento
- ACESOL, Asociación Chilena de Energía Solar
- AGRYD, Asociación Gremial de Riego y Drenaje
- ACSP, Asociación de Concentración Solar de Potencia
- SONAMI, Sociedad Nacional de Minería
- Generadoras de Chile, Asociación Chilena de Empresas Generadoras
- Empresas Eléctricas A. G., Asociación Gremial de Empresas Eléctricas
- SOFOFA, Sociedad de Fomento Fabril
- Fedefruta, Federación de Productores de Fruta de Chile
- Chilealimentos, Asociación de Compañías de Alimentos de Chile
- BancoEstado, Acuerdo de colaboración para apoyar modelos de negocio para proyectos renovables

Colaboraciones nacionales e internacionales

- Universidad Técnica Federico Santa María (UTFSM)
- Universidade Federal de Santa Catarina, Florianopolis, Brazil
- Universiteit van Stellenbosch, Stellenbosch, South Africa
- Universidade de Évora, Évora, Portugal
- Fundación Chile
- CSIRO

Programas de Gobierno

- Alta Ley, Programa Nacional de Minería
- Programa Estratégico Solar

Socios Industriales

- Viña Concha y Toro
- Engie Laborelec
- Schlaich Bergermann Partner
- Robert Bosch AG Chile
- Enel X
- Zimmermann, proveedor de estructuras para sistemas PV
- Codelco
- Transelec
- Gasco Luz

Socios de Investigación Científica

- SERC Chile
- Universidad de Antofagasta
- Leitac, Centro Tecnológico. Alianza
- Universidad Católica de la Santísima Concepción. Alianza

Socios de Investigación Industrial

- Jucosol
- Enel Green Power
- Bozzo Energy

Otros Centros Fraunhofer

- Fraunhofer IIS, Instituto de Circuitos Integrados
- Fraunhofer IFF, Instituto de Operación y Automatización de Fábricas
- Fraunhofer IEE, Instituto de Economía Energética y Tecnología de Sistemas Energéticos
- Fraunhofer IVI, Instituto de Sistemas de Transporte e Infraestructura

Otras Conexiones

- Universidad de Chile
- Universidad de Talca de Chile
- Universidad Adolfo Ibáñez
- Universidad de Concepción
- Universidad de Atacama
- SPF Institut für Solartechnik
- CICY, Centro de Investigación Científica de Yucatán, México
- International Solar Energy Research Center Konstanz
- AEE, Institute for Sustainable Technologies

Finalmente, CSET ha recibido el respaldo de la embajada de Chile en Alemania, a través del apoyo de la embajadora, Cecilia Mackenna. Ella escribió una carta de apoyo al Ministerio de Energía y a la CORFO, para dar su respaldo a FCR y especialmente a CSET.



Figura 50 - Prof. Dr. Frank Dinter con la embajadora de Chile en Alemania, Cecilia Mackenna

(Para más información sobre las redes de colaboración de CSET en Chile y el mundo, ver Anexo 11, "Redes del Ecosistema")

7.3. Impacto de las Redes del Ecosistema

Centros internacionales

Evora, Stellenbosch, UFSC. Alianza y colaboración a través de nuestro Scientific Advisory Board: orientación, directrices, tendencias internacionales, modelos de colaboración con la industria y ecosistemas de I+D aplicada, creación de redes, y otros aspectos.

Red Fraunhofer Alemania

Investigación aplicada, transferencia tecnológica, adaptación de las tecnologías a las necesidades de la industria en Chile. Como se explicó anteriormente, varias tecnologías están en diferentes etapas del proceso de transferencia, en los campos de Agrovoltaje, hidrógeno, electromovilidad, principalmente con Fraunhofer ISE, y otros centros como IVI e IEE. La red de 74 centros de Fraunhofer Alemania es nuestra principal fuente de transferencia de tecnología y soluciones tecnológicas para la industria.

Centros nacionales y universidades

El impacto de las redes locales se manifiesta principalmente en el papel de "puente", conectando la I+D con la industria. Se pueden mencionar varios procesos de colaboración: SERC Chile está interesado en desarrollar redes y extender sus proyectos e ideas a la industria y al mercado en general. Se prevé que CSET pueda complementar sus capacidades con SERC Chile, reforzando también el contacto y la coordinación con la red Fraunhofer en Alemania. Por ello, recientemente se ha acordado un proyecto formal de colaboración en Gestión Tecnológica entre SERC Chile y CSET, el cual ya se ha empezado a ejecutar. De forma

similar, el papel de CSET en los diferentes consorcios y alianzas en los que participa tiene objetivos similares. Por ejemplo, la participación en el Consorcio ATAMOSTEC, así como la colaboración con la UTFSM en el Consorcio de Electromovilidad para la Minería mediante Celdas de Combustible (Código: PTECC 89477). A través de estos convenios de colaboración se incrementa y amplía el proceso de transferencia tecnológica y se establecen y fortalecen más contactos con la industria y los ecosistemas de I+D. Bajo esta misma definición y propósito se encuentran los acuerdos específicos y proyectos de colaboración establecidos con la Universidad Católica, la Universidad de Chile, la Universidad Católica de la Santísima Concepción y Leitat Chile.

8. Desarrollo de Capacidades

8.1. Entrenamiento equipo CSET

La formación del personal y el constante desarrollo de sus capacidades es parte de la mejora continua que busca CSET como centro, apuntando vincular la formación del Capital Humano con los objetivos de la organización. Existen tres líneas principales en cuanto a la formación del personal:

- Cursos y formación en materias prioritarias, para el apoyo y gestión de las Líneas de Investigación como complemento a las capacidades técnicas en las diferentes materias de investigación del Centro. El plan en esta línea es, para cada investigador, la realización de 2 cursos por año. Los temas son, entre otros, los siguientes
 - Gestión de proyectos / Control y reporte de proyectos
 - Preparación y formulación de planes de negocio
 - Aspectos organizativos: Desarrollo de equipos, liderazgo de equipos y habilidades de trabajo en equipo.
 - Procedimientos de seguridad: trabajo con alta tensión, trabajo en condiciones peligrosas, conducción fuera de carretera y otros temas que pueden ser importantes para el desarrollo de trabajos de campo para proyectos específicos (instalaciones de generación de energía y minería, por ejemplo).
 - Aspectos de propiedad intelectual.
- Sobre la base de la identificación de temas de interés para las actividades de CSET, se apoyan las prácticas en Fraunhofer ISE y eventualmente en otros centros Fraunhofer, tanto para investigadores y estudiantes parte del co-ejecutor UC, como para los profesionales de CSET. Para estos temas, los períodos de las pasantías están en el rango de 1 a 6 meses. Los temas posibles son:
 - Almacenamiento e integración en la red / análisis de la red
 - Aplicaciones de hidrógeno
 - Aplicaciones de redes inteligentes
 - *Building Integration*
 - Sistemas de baterías (BESS)
 - Nuevas tecnologías fotovoltaicas, en campos como el concepto Agrovoltaico y los invernaderos con sistemas PV integrados
 - Electromovilidad
 - IoT, sensores y monitoreo
 - Formación en software en temas como análisis de datos, gestión de datos, aplicaciones de bases de datos, herramientas de modelado de redes, software científico como MATLAB y herramientas similares. También se considera la formación específica en herramientas de planificación de la red: Plexus, Switch, otros.

Además, los investigadores de CSET y del co-ejecutor UC reciben formación en áreas de interés, mediante la asistencia a conferencias internacionales, cursos, seminarios y talleres en temas específico, diferentes eventos científicos o técnicos, con el fin de actualizar sus conocimientos y generar nuevas ideas para los proyectos. Frente a este tema, el plan definido durante la fase es que un mínimo de tres personas por año realicen prácticas en los Institutos Fraunhofer, cada una por un periodo mínimo de 1 mes. Lamentablemente, debido a la situación sanitaria nacional y mundial, esto no ha sido posible ya que no se ha podido gestionar una dinámica similar a un internado de forma remota.

Algunas prácticas realizadas durante los últimos años, que merecen ser mencionadas, son:

- María Teresa Cerda, líder de la Línea de Investigación de Sistemas Solares Térmicos, capacitada en terreno en equipos para mediciones de energía térmica. Esta capacitación se realizó durante el mes de febrero de 2019, con el objetivo de desarrollar Capital Humano avanzado para la RL2. María Teresa recibió formación específica en la instalación y uso de caudalímetros para la demanda térmica, así como la instalación de Dataloggers para la toma de datos.
- Iván Muñoz, investigador, parte del equipo de Sistemas Solares Térmicos, cursó el programa "Machine Learning" del MIT Professional Education, con el objetivo de ampliar sus conocimientos sobre Data Science, concretamente sobre sus aplicaciones en el campo de la Energía Solar. Iván pudo profundizar sus conocimientos de Data Science con aplicación directa en la industria. Además, inició el contacto con diferentes científicos e ingenieros de un nuevo campo de análisis de datos, algoritmos y redes. Esta formación comenzó en junio de 2020 y fue realizada y terminada con éxito.
- Fernando Zurita, investigador, parte del equipo de Sistemas Fotovoltaicos, comenzó en septiembre de 2020 un programa de formación en Análisis de Datos, realizado por la Universidad del Desarrollo, finalizando en enero de 2021. El objetivo aquí es el conocimiento y ampliación de los procesos de digitalización y análisis de datos, además de la ampliación de la red profesional para él y CSET.
- Otras menciones: Andreas Staiger, formación en Gestión de Datos por Fraunhofer ISE; Catalina Hernández, Diplomado en Gestión de Proyectos por la Universidad Adolfo Ibáñez; Alois Salmon y María Teresa Cerda, formación de una semana en CSP en el laboratorio PROMES (del Centro Nacional para la Investigación Científica) de Francia; entre otros.

8.2. Infraestructura y Equipamiento de Laboratorio y Mediciones

RL1 – Sistemas Fotovoltaicos

El equipo PV cuenta con una estación meteorológica ubicada en la comuna de Diego de Almagro, donde se mide la radiación solar y las variables atmosféricas (T-RH, presión y velocidad/dirección del viento). Esta estación se instaló en septiembre de 2017 en el marco del proyecto con el cliente CODESSER para caracterizar el sitio de estudio en cuanto a sus variables meteorológicas, las cuales fueron medidas desde septiembre de 2017 hasta septiembre de 2018. A partir de septiembre de 2018 se realiza un mantenimiento periódico de la estación, y se ha realizado un informe de las variables de radiación y atmosféricas medidas por los 365 días del año 2019 como parte de un estudio interno de CSET. En marzo de 2020 se tuvieron que suspender las visitas de mantenimiento a la estación debido a las condiciones sanitarias derivadas de la pandemia mundial, lo que conlleva la pérdida de datos desde esta fecha. En la actualidad si bien han bajado las restricciones de movilidad, las visitas no se han podido hacer de manera frecuente, por lo que se está evaluando el cómo continuar con registro de datos de esta estación.

Además de la estación de radiación solar y variables atmosféricas, se instaló en el mismo emplazamiento, en el marco del mismo proyecto, una estación de medida de rendimiento de tecnologías fotovoltaicas y estudios de ensuciamiento, donde se midieron variables eléctricas de diferentes tecnologías PV y se realizaron estudios de ensuciamiento desde septiembre de 2017 hasta septiembre de 2018. Actualmente se estaba desarrollando un estudio de productos de limpieza de módulos que tuvo que ser suspendido en marzo de 2020 debido a las mismas razones de lo enunciado con anterioridad.

En cuanto al trazador de curvas PV-engineering IV, modelo PVPM1500X, el equipo de la RL1 de CSET ha recibido formación para su uso en terreno y su posterior procesamiento y corrección de los datos a STC (standard test conditions) y NOCT (Normal Operation Cell Temperature), teniendo en cuenta los estándares internacionales. Actualmente, CSET ha ofrecido servicios de medición de Curva I-V a empresas privadas, con dos proyectos recientemente terminados, uno en la Región Metropolitana y otro en la Región del Maule.

RL2 – Sistemas Solares Térmicos

En cuanto al equipo Solar Térmico, este cuenta con tres estaciones meteorológicas, Likana, Toco y Tamarugal, donde se mide la radiación solar y las variables atmosféricas (T-RH, presión y velocidad/dirección del viento). Una de las estaciones, Likana, se encuentra en Calama, Región de Antofagasta, donde se presta un servicio de medición del recurso solar para una empresa privada. La estación Toco está ubicada en las cercanías de María Elena, Región de Antofagasta, y actualmente no presta servicios, pero ha sido ofrecida en arriendo a dos empresas privadas para servicios de monitoreo in situ de estas variables ambientales. Por último, la estación Tamarugal se ubica en las cercanías de Pica, Región de Tarapacá, y al igual que la estación Toco, ha sido ofrecida en arriendo a empresas privadas para servicios de monitoreo. Este equipo ha sido utilizado en los proyectos DORIAN y DORIS de una

empresa de generación de CSP.

En resumen, hasta la fecha el equipo de CSP cuenta con una estación meteorológica que entrega datos para un cliente privado, mientras que las otras dos están siendo ofrecidas a clientes privados para campañas de monitoreo in situ de las variables del recurso solar como las variables atmosféricas (temperatura, humedad relativa, presión atmosférica, velocidad y dirección del viento).

9. Indicadores de Fase II

Para mostrar los resultados obtenidos durante la Fase II del proyecto CSET, se presenta a continuación la tabla de indicadores consolidados para la etapa en cuestión.

Indicadores	METAS ETAPA 2 (CONSOLIDADO)			
	Meta	Acumulado	%	Status
<i>Estructurales y Operacionales (cualitativos)</i>				
Establecimiento de un nuevo equipo de gestión (Director del Centro)	Logrado	Logrado	100%	Done
Actualización de los Procesos de Transferencia de Tecnología y Paquetes de trabajo establecidos.	Logrado	Logrado	100%	Done
Reducción de 3 líneas de investigación a 2 líneas de investigación y reorganización administrativa de líneas de investigación.	Logrado	Logrado	100%	Done
Establecimiento exitoso de proyecto transversal entre las dos líneas de investigación.	Logrado	Logrado	100%	Done
<i>Publicitarios (Cualitativos)</i>				
Actualización del sitio web de CSET (completamente bilingüe al final de la segunda etapa)	Logrado	Logrado	100%	Done
<i>Publicidad (Cuantitativo)</i>				
Número de publicaciones de difusión / publicidad	30	43	143%	Done
Número de actividades promocionales realizadas *Actividad: Seminario, taller, participación en ferias/congresos y otros.	35	50	143%	Done
<i>Líneas I+D: Sistemas Fotovoltaicos</i>				
Número total de investigadores contratados al final de la Fase	20	28	140%	Done
Número de publicaciones científicas	30	5	17%	Low
N ° de Patentes en proceso (aplicaciones)	1	0	0%	Low
<i>Líneas I+D: Sistemas Solares Térmicos</i>				

Número total de investigadores contratados al final de la Fase 2.	20	26	130%	Done
Número de publicaciones científicas	30	30	100%	Normal
N ° de Patentes en proceso (aplicaciones)	1	1	100%	Done
Extensión				
Nuevas alianzas (MoU) con entidades locales de I+D	2	16	800%	Done
Nuevas alianzas (MoU) con entidades internacionales de I + D	2	3	150%	Done
Número de personas que participan en actividades relacionadas con la transferencia de tecnología	4	5	125%	Done
Transferencia de tecnología a ICE Chile de Fraunhofer ISE	3	3	100%	Done
Número de Personas del Centro de Excelencia Internacional que han participado en el Proyecto	30	60	200%	Done
Número de Personas del Centro de Excelencia Internacional que han visitado Chile en el Marco del Proyecto.	6	6	100%	Done
Empleo				
Nº de Investigadores como nuevo personal contratado (nacional / extranjero)	24	49	204%	Done
Nº de doctorado como nuevo personal contratado (nacional / extranjero)	6	2	33%	Low
Nº de maestría como nuevo personal contratado (nacional / extranjero)	9	20	222%	Done
Nº de profesionales formados y capacitados en el país de origen del Centro de Excelencia internacional	12	7	58%	Low
Nº de profesionales (nacionales e internacionales) capacitados por CSET	24	86	358%	Done
Ingresos (Thousand USD): Tipo de cambio 630 CLP / USD				

Ingresos de contratos con la industria (MUS\$)	1500	652	43%	Low
Ingresos por prestación de servicios por CSET en Chile (MUS\$)	300	366	122%	Done
Aprovechamiento con Fondos Nacionales Públicos (MUS\$)	1900	884	47%	Low
Aprovechamiento con fondos internacionales (MUS\$)	1000	0	0%	Low
Ingresos por acuerdo con entidades internacionales (MUS\$)	200	38	19%	Low
Ingresos por licencias (MUS\$)	50	0	0%	Low
Ingresos generados por spin-offs generados (MUS\$)	0	0	0%	Low
CONOCIMIENTO Y ACTIVOS TECNOLÓGICOS				
Número de productos y servicios desarrollados en fase de prototipo en el año t	3	3	100%	Done
Número de patentes de invención solicitadas en año t en Chile en el marco del proyecto	2	1	50%	Low
Número de diseños industriales solicitadas y publicadas en año t	1	0	0%	Low
Registro de software en derecho de autor en año t	1	0	0%	Low
INFRAESTRUCTURA				
Mt2 de laboratorio o infraestructura tecnológica utilizada en el proyecto en el año t	353,8	378,8	107%	Done
COMERCIALIZACIÓN				
Número de Licencias en el año t	2	0	0%	Low
Número de Contratos de I+D asociados al proyecto en el año t	12	30	250%	Done
CAPITAL HUMANO				
Número de técnicos en labores de investigación y desarrollo tecnológico totales en proyectos de la GCT en jornada completa equivalente, en el año t	2	4	200%	Done
COLABORACIÓN Y REDES				
N° de mecanismos de colaboración	20	32	160%	Done

Como se muestra en la tabla anterior, la mayoría de los KPI de esta fase (Anexo 13, "KPI Fase II") fueron logrados e incluso muchos fueron superados por un gran margen. Los KPI que no lograron superar la meta se enumeran y explican a continuación:

- **Patentes, Software, Diseños Industriales y Licencias.** CSET tiene un rol articulador en el ecosistema solar, conectando la I+D con las Industrias. Durante la Fase II, el Centro se centró en la aplicación de la tecnología ya desarrollada, adaptando esta tecnología al contexto y situación nacional. El desarrollo de conocimiento conducente a patentes y diseños industriales no fue el foco del Centro. Además, para licenciar la tecnología, es necesario publicar el contenido de la tecnología en Chile, de acuerdo con esto, no se recomienda el licenciamiento de software. Independientemente de este KPI, CSET se encuentra vendiendo servicios para la monitorización de plantas de energía solar usando el software de desarrollo propio Power Plant Monitoring. Este es un tipo de desarrollo el cual puede ser comercializado bajo una metodología de licenciamiento, pero se optó a esto debido a las razones mencionadas anteriormente. El Centro optó por vender un servicio usando el software, el cual incluye estudios en terreno.
- **Spin-offs.** Aunque se evaluaron algunos proyectos para convertirlos en una empresa derivada, no eran lo suficientemente prometedores. El Director del Centro discutió estas ideas con Fraunhofer Ventures, en Múnich, Alemania, en septiembre de 2020, y su análisis de los proyectos fue que estas iniciativas no estaban lo suficientemente maduras para empresas Spin-off. CSET conoce mucho mejor los requisitos que deben cumplirse, lo que probablemente ayudará a seguir desarrollando otras posibilidades.
- **Publicación científica, línea de investigación de sistemas fotovoltaicos.** En contraste con el grupo de Sistemas Solares Térmicos, el equipo de Fotovoltaica comenzó en la Fase II sin un Líder de Línea de Investigación, porque el anterior jefe de equipo dejó su trabajo al principio de la Fase II. Aunque el puesto se anunció internacionalmente, permaneció abierto durante más de un año, debido a la ambiciosa tarea de encontrar a alguien con las habilidades necesarias. Esta falta de líder fue una restricción difícil de manejar, que repercutió en el rendimiento del equipo, especialmente en la investigación y las publicaciones científicas.
- **Contratación de PhD.** CSET trató de contratar a más de un doctorado durante la Fase II, pero fue difícil encontrar a personas capacitadas de habla hispana. Por ejemplo, los que podían ser contratados por CSET venían principalmente de España, pero tenían el problema de que las familias no querían ir a Chile. Los únicos doctores disponibles eran de la India y de países árabes, sin conocer el idioma. En Chile la mayoría de los doctores se quedan en las universidades y se convierten en profesores. CSET sigue en campaña para integrar a PhD calificados al equipo.
- **Formación en el país de origen del Centro (Alemania).** La situación en el mundo, generada por el COVID-19, hizo casi imposible los viajes entre Chile y Alemania. Una vez que la situación sanitaria se normaliza durante la Fase III, se comenzará a gestionar nuevamente este tipo de iniciativas para potenciar la transferencia tecnológica y de conocimiento desde Alemania.

- **Ingresos.** La situación económica nacional y mundial del último tiempo terminó siendo mucho peor de lo que se esperaba en el momento en que se redactaron los KPI en el contrato. Además, las empresas industriales no estaban muy interesadas en las innovaciones, que aún no estaban probadas en Chile. Ahora, podemos ver que el mercado está mucho más maduro, para entender los beneficios de las aplicaciones solares. Sin embargo, a pesar de la situación de desventaja, CSET pudo cerrar más contratos de investigación aplicada de lo esperado, especialmente el año 2020, cerrando el año con altos ingresos, casi tres veces más que los años anteriores. Otro punto que considerar es el alcance de la red de CSET, el cual ha aumentado considerablemente debido a la creciente cantidad de convenios y vínculos firmados con empresas los últimos dos años. Sin duda, esto tendrá un impacto positivo en los ingresos de los próximos años.
Para ceñirse al contrato entre CORFO y FCR-CSET, Fraunhofer ISE se hace cargo de las contribuciones pecuniarias, que no fueron alcanzadas por CSET para la Fase II. Estas contribuciones se enumeran y describen en el Anexo 8 y serán auditadas por una firma alemana independiente.
- **Financiamiento público.** Como se menciona en el informe, el CSET ha solicitado varios fondos públicos, nacionales e internacionales, pero sin alcanzar los objetivos en ninguno de estos KPI. Esto es probablemente el resultado de una mayor competencia en las oportunidades de financiamiento de la investigación. Los fondos europeos están sobrecargados de solicitudes, por lo que la tasa de éxito está por debajo del 10%. De todos modos, CSET sigue trabajando en este tema, tratando de apalancar su investigación con otros fondos nacionales e internacionales.

(Para más información sobre el estado de los KPIs, consulte el Anexo 4, "Actividades Promocionales"; el Anexo 14, "Publicaciones científicas"; el Anexo 15, "Recursos Humanos"; y el Anexo 16, "Transferencia de Conocimiento")

10. Tabla de Figuras

Figura 1 - Acuerdo de Asociación de CSET	13
Figura 2 - Scientific Advisory Board, miembros y responsabilidades	16
Figura 3 - Scientific Advisory Board, asistentes octubre 2020	16
Figura 4 - Industrial Advisory Board, miembros y responsabilidades	17
Figura 5 - Industrial Advisory Board, asistentes julio de 2020	18
Figura 6 - Estructura FCR	18
Figura 7 - Estructura CSET	21
Figura 8 - Portada Newsletter N°1 FCR, enero/febrero 2021	24
Figura 9 - Banner edición especial "Chile, ¿Descarbonizado al 2025?", Reporte Sostenible, noviembre 2020	24
Figura 10 - Reportaje Agrovoltaico, Revista CAMPO, El Mercurio, febrero 2021	25
Figura 11 - Invitación Interna para colaboradores, Taller de Fotografía y Video, enero 2021	26
Figura 12 - Video Promocional "Agricultura Urbana Solar", haga click en la imagen para ver el video	27
Figura 13 – Ejemplos de cápsulas informativas, Diccionario Solar	28
Figura 14 - Página web ACSP	30
Figura 15 - Crecimiento LinkedIn, enero 2019 (abajo) - diciembre 2020 (arriba)	31
Figura 16 - Módulo PV bifacial instalado en Torre Peñuelas	39
Figura 17 - Configuración de módulos PV	40
Figura 18- Inversor Fronius instalado en Torre Peñuelas	40
Figura 19 - Celdas de Referencia traseras	41
Figura 20 - Anemómetro	41
Figura 21 - 2 Sensores de temperatura en módulos PV bifaciales	42
Figura 22 - 2 Sensores de temperatura ambiental	42
Figura 23 - Canalizaciones eléctricas	43
Figura 24 - Tablero eléctrico para los sensores BOX	43
Figura 25 - Poster "Agrivoltaic in Chile" presented in SWC 2019, Santiago, Chile	46
Figura 26 - Visita de UNSW	48
Figura 27 - Estación meteorológica autónoma en Diego de Almagro	53
Figura 28 - Módulo PV y su matriz de análisis de celdas dañadas	57
Figura 29 - Descripción del recorrido de la energía entre el heliostato y la torre	64
Figura 30 - Valores de la atenuación atmosférica promedio para una planta solar térmica de torre (115 MW)	66
Figura 31 - CSET realizando evaluación de colectores cilindro-parabólicos en planta de concentradora de jugos	69
Figura 32 - Equipo en proyecto Aguas de Belén, Arica	72
Figura 33 - Equipo Sistemas Solares Térmicos en Cervecera Guayacán	75
Figura 34 - Trabajo en Cervecera Guayacán	76
Figura 35 - Invitación evento Drink Solar, octubre 2019	76
Figura 36 - Equipo CSET en pilas de lixiviación	78
Figura 37 - Mapa de calor de demanda térmica, ubicación de viviendas y clientes claves. Chaitén, Región de los Lagos	79
Figura 38 - "Acortando la Brecha", el modelo de Fraunhofer	88
Figura 39 - Modelo de Financiamiento "Tres Tercios" de Fraunhofer-Gesellschaft	98
Figura 40 - Diagrama, Modelo de Vinculación	102
Figura 41 - Parametrización de la estructura del concepto Agrovoltaico	109
Figura 42 - Cadena Power-to-Liquid, investigada en ISE	110
Figura 43 - Vista sistemática del concepto Carbon2Chem	111
Figura 44 - Prototipo AUCS	111
Figura 45 - Prototipos de electromovilidad en agricultura	112

Figura 46 - Prof. Dr. Frank Dinter in una estación de hidrógeno. Friburgo, Alemania 112

Figura 47 - Invitación a charla de Prof. Dr. Frank Dinter en la Universidad de Chile 113

Figura 48 - Cátedra online sobre Sistemas Solares Térmicos para estudiantes de ingeniería 114

Figura 49 - Diplomado "Tecnologías Aplicadas de Hidrógeno Verde", UTFSM 114

Figura 50 - Prof. Dr. Frank Dinter con la embajadora de Chile en Alemania, Cecilia Mackenna 122