

# INFORME N° 05

## CORFOCHILE - CORFO

### INFORME AVANCE

**TITULO DEL PROGRAMA:**

ATRACCIÓN DE CENTROS DE EXCELENCIA INTERNACIONAL  
EN I+D PARA LA COMPETITIVIDAD

**CÓDIGO:**

13 CEI 2 - 21803

**FECHA DE EMISION:**

13/02/2015

**NOMBRE DEL CEI:**

FRAUNHOFER ISE

**INSTITUCIÓN BENEFICIARIA (CEI-CHILE):**

FRAUNHOFER CHILE RESEARCH-(FCR)  
CENTRO DE TECNOLOGÍAS PARA ENERGÍA SOLAR (CSET)

**NOMBRE DEL DIRECTOR EJECUTIVO DEL CEI-CHILE:**

Prof. Dr. WERNER PLATZER

**NOMBRE DEL EJECUTIVO A CARGO:**

CATALINA TORRES

**PERIODO DE RENDICIÓN DEL INFORME:**

14/11/2017 hasta 13/02/2018

**ETAPA N°: 01**

## Tabla de Contenido

<b>1 ANTECEDENTES DEL PROYECTO</b> .....	<b>4</b>
1.1 Identificación del Proyecto.....	4
1.2 Plazos del Proyecto.....	4
1.3 Coejecutor(as) y Asociada(as) .....	4
<b>2. INFORME EJECUTIVO</b> .....	<b>5</b>
2.1 Avance de las Líneas y Proyectos .....	7
2.2 Avance en Indicadores de resultados y de impacto.....	28
2.3 Presupuesto.....	35
2.4 Plan de Acción para el Próximo Periodo .....	36
<b>3 INFORME DE GESTIÓN</b> .....	<b>38</b>
3.1 Objetivos del Proyecto .....	38
3.2 Indicadores de resultados y de impacto .....	42
3.3 Gestión del Proyecto .....	49
<b>4 INFORME DE I+D, TT Y PI</b> .....	<b>58</b>
4.1 I+D realizados por el Proyecto.....	58
4.2 Síntesis de Actividades de Transferencia Tecnológica y Propiedad Intelectual.....	60
4.3 Síntesis de Actividades de Propiedad Intelectual.....	60
4.4 Otros Impactos Producidos por el Proyecto .....	60

## TABLA DE ANEXOS

<b>ANEXO NO. 1: CORPORATIVO .....</b>	<b>62</b>
<b>ANEXO NO. 2: ELECTRICIDAD SOLAR.....</b>	<b>69</b>
<b>ANEXO NO. 3: CALOR SOLAR .....</b>	<b>100</b>
<b>ANEXO NO. 4: TRATAMIENTO DE AGUAS.....</b>	<b>131</b>
<b>ANEXO NO. 5: DESARROLLO DE NEGOCIOS .....</b>	<b>151</b>
<b>ANEXO NO. 6: PROYECTOS COEJECUTOR UC .....</b>	<b>166</b>

## Informe Técnico Ejecutivo

### 1 Antecedentes del Proyecto

#### 1.1 Identificación del Proyecto

<b>Título del Proyecto</b>	FRAUNHOFER CHILE RESEARCH-(FCR) CENTRO DE TECNOLOGÍAS PARA ENERGÍA SOLAR (CSET)
<b>Código</b>	13 CEI 2 – 21803
<b>Director(a) del Proyecto</b>	WERNER PLATZER
<b>e-mail</b>	Werner.platzer@fraunhofer.cl
<b>Fono</b>	223781660
<b>Subdirector(a) del Proyecto</b>	MARCO VACCAREZZA
<b>e-Mail</b>	marco.vaccarezza@fraunhofer.cl
<b>Fono</b>	223781661
<b>Institución(es) Beneficiaria(s)</b>	CENTRO DE TECNOLOGÍAS PARA ENERGÍA SOLAR (CSET)

#### 1.2 Plazos del Proyecto

<b>Plazo Contractual</b>	96 meses
<b>Fecha de Inicio</b>	13/02/2015
<b>Fecha de Término.</b>	13/02/2023

#### 1.3 Coejecutor(as) y Asociada(as)

Nº	Nombre Institución/ Empresa	Tipo (Coejecutor/ Asociada)	Nombre Representante de la Empresa/institución en el Proyecto	e-mail del Representante	Fono del Representante
1	Pontificia Universidad Católica de Chile	Coejecutor	Rodrigo Escobar	<a href="mailto:rescobar@ing.puc.cl">rescobar@ing.puc.cl</a>	223781582

## 2. Informe Ejecutivo

El presente informe cierra la primera fase del proyecto 13CEI2-21803, la información aquí contenida corresponde a los meses transcurridos entre la presentación del informe de continuidad, entregado en la oficina de partes de CORFO el 13.11.2017, y el cierre de la primera fase, el 12.02.2018.

El Centro de Tecnologías para Energía Solar (CSET) finaliza su primera fase con la culminación del establecimiento y puesta en marcha del Centro de Tecnologías para Energía Solar. De esta manera, dentro de los logros alcanzados, da cuenta de la contratación de más de 131 colaboradores, en diferentes asignaciones de tiempo, de los cuales 52 han sido investigadores vinculados a los proyectos de investigación de FCR-CSET y 78 en proyectos realizados por el coejecutor UC. Dentro de las diferentes líneas de investigación se llevaron a cabo cerca de 40 proyectos de investigación, 4 proyectos con recursos públicos y se produjeron alrededor de 20 informes de resultados, cuya información se encuentra para consulta en el Anexo N.8 – Publicaciones Difusión.

Durante el periodo noviembre 2017 y febrero 2018, FCR-CSET continuó con los proyectos de investigación adelantados, cumpliendo en la mayoría de los casos con los tiempos planteados en la Carta Gantt.

Entre los hitos importantes se destacan:

- Suscripción de tres (3) nuevos convenios de cooperación: convenio con el SERC Chile en el marco del cual FCR-CSET participa como miembro del grupo de instituciones para el estudio interdisciplinario de la energía solar en Chile. Por otro lado, suscripción de un convenio con Laborelec Chile (ENGIE) para desarrollar trabajo conjunto en relación a debida diligencia técnica para la instalación de plantas solares, así como inspección de las mismas. Suscripción de memorando de entendimiento con Stellenbosch University en Sudáfrica, con el fin de adelantar conjuntamente programas y proyectos de investigación y desarrollo en el uso de la energía solar.
- La puesta en marcha de la segunda estación de medición de recurso solar en la Universidad Técnica Federico Santa María, en la cual se instaló un CPV para medición de concentración fotovoltaica. El sistema se asemeja al instalado en Antofagasta.
- Como resultado del acercamiento con el sector productivo, en este periodo FCR-CSET concretó dos (2) nuevos contratos con la industria privada, uno en RL1 correspondiente a un brazo robótico y el segundo de RL2, para análisis del sistema de agua caliente para uso sanitario y limpieza en una industria alimentaria. Un tercer contrato nace del convenio de colaboración con Laborelec, para realizar una diligencia técnica en México, en una empresa que fabrica cilindro-parabólicos.
- En este periodo el personal de Business Development consiguió un importante logro con la adjudicación del proyecto FIC – R Región Metropolitana - Fincas Urbanas.
- En cuanto a difusión, más de 18 instancias destacan la presencia de FCR-CSET en los medios durante los últimos tres meses. Diferentes medios de comunicación nacional han publicado reportajes sobre los proyectos y actividades, presencia que también ha sido reflejada a través del sitio web de FCR y diversas notas de prensa.

- Cabe mencionar la continua colaboración con los científicos del Instituto Fraunhofer (ISE) de Alemania, en donde más de 20 investigadores trabajan en temas relacionados con las actividades de investigación de FCR-CSET.
- El Coejecutor UC consolidó la instalación de nuevas oficinas para la adecuada ejecución del proyecto y continuó con la habilitación de Laboratorio Solar para el análisis de datos solares.
- La producción científica y los reconocimientos en este periodo han tenido un importante realce, a la fecha se cuenta con más de 21 publicaciones propias de FCR-CSET y UC, de las cuales 11 corresponden a reportes derivados de los proyectos de investigación de UC con inicio de actividades en abril 2017. La línea de Calor Solar de FCR-CSET finalizó el estudio “Potencial solar térmico para la generación de vapor para procesos industriales en Chile”.
- En relación a difusión del conocimiento, FCR-CSET realizó dos seminarios abiertos al público a saber: i) Seminario Solar “Usos Del Calor Solar En La Industria Alimentaria” y ii) Seminario de cierre proyecto AgroPV, en el cual se presentaron los resultados derivados de la instalación de tres plantas fotovoltaicas sobre cultivos agrícolas en las comunas de El Monte, Lampa y Curacaví, en la Región Metropolitana, con el propósito de comprobar los beneficios de combinar el uso eficiente del suelo agrícola para la producción de hortalizas y la generación de energía solar. El proyecto es pionero en América Latina y contó con el apoyo del Fondo de Innovación para la Competitividad del Gobierno Regional Metropolitano.
- Por su parte, la UC realizó un seminario el 12.12.2017 en sus instalaciones, con el fin de presentar a los colaboradores, los avances alcanzados en los diferentes proyectos de investigación que adelanta, enmarcados en las tres líneas de investigación de FCR-CSET.
- En temas de recursos humanos, durante el periodo dos investigadores terminaron contrato laboral con FCR-CSET y por otro lado, la línea de Calor Solar da cuenta de la contratación de dos estudiantes en práctica.
- Con el propósito de impulsar la investigación aplicada y gracias al financiamiento recibido por Innova Chile CORFO, en los últimos meses se adquirió equipos de alta tecnología y software (PINCH, MATLAB, TRNSYS, entre otros), lo que ha permitido establecer plataformas de punta para investigar y modelar escenarios para conocer las condiciones locales para la implantación de tecnologías solares en el país.
- En términos financieros, al cierre de la primera fase se concluye la entrega de recursos al coejecutor por el 100%, siendo entregados el 34% de los recursos durante el último periodo.
- Por su parte, el ejecutor UC presenta resultados y una ejecución satisfactoria al término de la primera fase de los 11 proyectos iniciados en agosto del 2016, financiados con fondos basales.

## 2.1 Avance de las Líneas y Proyectos

El avance de cada una de las líneas de investigación se mantiene conforme a la programación aprobada y a continuación se describen los principales avances durante el periodo del reporte, por cada línea de investigación:

### Corporativa:

- Culminación a satisfacción de la instalación del FCR-CSET y consolidación del equipo de trabajo.
- Culminación de adecuación de oficinas y laboratorio solar por parte de UC.
- A partir de enero 2018 participa Frank Dinter como investigador principal y responsable de la línea de investigación N.4 – Energy Storage del Solar Energy Research Center (SERC) – Chile. Por su parte, FCR también participa como institución asociada al SERC.
- Firma de convenio de colaboración con Laborelec Chile (Engielab) para trabajar conjuntamente el mercado de medición de recursos solar en Chile y Latinoamérica.
- Firma de memorando de entendimiento con Stellenbosch University, Ciudad del Cabo, Sudáfrica.

### Electricidad Solar:

- Durante el último periodo se conformó definitivamente el comité técnico 82 “Solar Photovoltaic Energy Systems” perteneciente a la IEC (International Electrotechnical Commission) en el marco de la representación de Chile. Durante el periodo reportado se comenzó la puesta en marcha del comité en sí mismo, en donde ya fueron evaluados dos estándares y se planificó el trabajo para el año 2018.
- La línea de electricidad solar continúa con la apertura de nuevos proyectos principalmente en el área de predicción del recurso solar y en el control de calidad de plantas fotovoltaicas. Además, en este tiempo se ha estabilizado la ejecución de contratos de Evaluación del Recurso Solar en terreno, conservando el número de estaciones en operación respecto al informe anterior.
- Instalación del segundo sistema CPV de 3.2 KWc en las dependencias de la Universidad Técnica Federico Santa María, campus Santiago, en el marco del convenio de colaboración con la empresa BOZZENERGY. Proyecto para medir concentración fotovoltaica.
- En el marco de su rol como coejecutor del proyecto, la UC presenta resultados finales de los proyectos de investigación que iniciaron actividades en abril 2017, ver documentos en la carpeta “Anexo N.12 - Informes UC”, anexo digital entregado en conjunto con el presente informe.

### Calor Solar:

- En proceso de implementación la página web para monitoreo de mediciones.
- Finalización del estudio sobre potencial tecno-económico de generación de vapor mediante energía solar y de intercambiadores de calor.
- Presentación de los resultados del primer estudio del punto anterior en el seminario realizado el 24 de noviembre de 2017.

- Contratación de los estudiantes Camila Correa y Pablo Castillo, quienes trabajan en la creación de una herramienta de análisis de los consumos energéticos de las industrias chilenas.

#### **Tratamiento de Aguas:**

- Esta línea de investigación ha avanzado en el desarrollo de estudios de factibilidad y adaptación de tecnologías como Membrana de destilación y Osmosis inversa con PV, a condiciones locales de calidad de agua, geografía, recurso solar, y acceso a redes eléctricas, especialmente en localidades remotas del norte de Chile; además de estudiar opciones para tratamiento de aguas residuales de diferentes procesos industriales en el país.
- Presentación de prototipos a CORFO del proyecto BrineMine en colaboración con la empresa GTN y el Centro de Excelencia en Geotermia de Los Andes (CEGA).

#### **Desarrollo de negocios:**

- En el marco del proyecto AgroPV, financiado por el GORE, se da por terminada la instalación de las plantas solares en las tres localidades definidas (Lampa, Curacavi y El Monte) y vale la pena destacar como hito que el día 29 de diciembre se obtuvo la aprobación de SEC (Superintendencia de Electricidad y Combustibles) para la conexión de las tres plantas a las redes de distribución respectivas, bajo modalidad Net Metering (Ley 20571).
- Desarrollo de un software de optimización de gestión óptima de soiling con el principal operador de plantas fotovoltaicas de gran escala a nivel nacional.
- Obtención de cofinanciamiento CORFO (Voucher de Innovación) para Validación de uso de cámaras de cielo fabricadas en Chile para la realización de NowCasting en plantas solares en general. Proyecto adjudicado a ObsTech, (spin-off UC Astronomía), en el cual CSET es subcontrato tecnológico.
- Presentación de ofertas a empresas operadoras PV de Software de Simulación Optimización Soiling.
- Adjudicación de Proyecto presentado a FIC-R 2017 de la Región Metropolitana, en conjunto con FCR-CSB (Centro de Biotecnología), Urban Farms (Granjas Urbanas).

#### **2.1.1 Línea Corporativa:**

<b>Fecha de Inicio:</b>	13/02/2015
<b>Fecha de Término:</b>	13/02/2018
<b>% Avance programado:</b>	100%
<b>% Avance Real:</b>	<b>100%</b>

#### **Objetivo del periodo:**

La línea Corporativa mantiene sus funciones de fortalecimiento de la gestión del proyecto 13CEI2 – 21803 con el apoyo de la oficina central de Fraunhofer Chile Research, además de otros objetivos que se citan a continuación:



1. Proveer asesoría en propiedad intelectual a las líneas de investigación
2. Fortalecer las actividades de transferencia de tecnología y contactos con los clientes
3. Coordinar las movimientos financieros y actividades de recursos humanos
4. Proporcionar capacitación interna
5. Fomentar las sinergias entre las líneas de investigación.
6. Coordinar actividades con Fraunhofer ISE
7. Coordinar las actividades entre CORFO y FCR-CSET – UC.

**Observaciones:**

Entre los hitos importantes logrados en el periodo noviembre 2017 a febrero 2018 se tienen:

- El Prof. Dr. Werner Platzer culmina su función como director de FCR-CSET al término de la primera fase. Para dar inicio a la segunda fase asume como director el Prof. Dr. Frank Dinter. El Prof. Dr. Werner Platzer regresará a Alemania después de dos años de estar al frente del proyecto y continuará vinculado al mismo desde sus funciones en Fraunhofer ISE en Alemania.
- Fortalecimiento del equipo de trabajo y cambios entre el grupo de investigadores, quienes por diversos motivos renunciaron al FCR-CSET, como son Felix Carrasco, investigador en la RL3-Tratamiento de Aguas, y Alan Pino, investigador en la RL1-Electricidad Solar. Adicionalmente, inician labores en el CSET dos estudiantes de práctica para RL2-Calor Solar.
- La Universidad Católica en su rol como ejecutor, representada por el Prof. Rodrigo Escobar, da cuenta de 11 proyectos de investigación, así como de 11 estudios, los cuales se describen en el Anexo N.6-Proyectos UC.
- El coejecutor UC da cuenta de la aprobación del presupuesto para el año 2 de la etapa 1 (Noviembre 2017). Conformación de un equipo de trabajo consolidado, conformado por ingenieros, con diferentes competencias, e investigadores.
- Entrega al coejecutor del 34% del presupuesto total en el periodo Septiembre 2017 – Diciembre 2017 para culminar la Etapa 1. Es importante mencionar que retrasos en la entrega de los dineros afectaron el cumplimiento de las tareas en los proyectos, los cuales, no obstante, reportan avances satisfactorios al cierre de la primera fase.

N°	Nombre del proyecto	Institución(es) Líder(es)	Fecha de Inicio	Fecha de Termino	% Avance programado	% Avance Real
1	Instalación del centro	FCR-CSET	13/02/2015	12/12/2015	100%	100%

**Observaciones del Proyecto:**

- El CSET da cuenta en su primera fase de la exitosa inauguración y organización del trabajo, en conjunto con la UC, como coejecutor.

- El trabajo correspondiente a la creación del FCR-CSET, adecuación de oficinas, contratación de personal y adquisición de equipo básico culminó satisfactoriamente en febrero de 2016, tal como se reportó en informes anteriores.

<b>2</b>	<b>Entrada en operación del ICESE</b>	<b>FCR-CSET</b>	<b>01/07/2015</b>	<b>13/02/2018</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>
----------	---------------------------------------	-----------------	-------------------	-------------------	-------------	-------------

**Observaciones del Proyecto:**

- Al finalizar la primera fase del Centro, el Prof. Dr. Werner Platzer culmina su labor como director y regresa a Alemania para continuar con sus actividades en Fraunhofer ISE, desde donde seguirá acompañando a FCR-CSET en sus diferentes tareas. Asumirá como nuevo director el Prof. Dr. Frank Dinter, quien venía ocupando el cargo de coordinador para el desarrollo estratégico de FCR-CSET desde julio 2017. De esta manera, el Prof. Dr. Dinter cuenta suficiente experiencia para asumir el cargo y hacer la transición de una manera eficiente.
- En el periodo del reporte, tanto FCR-CSET como UC adquirieron equipo y software necesario para adelantar labores de investigación, para lo cual el área Corporativa realizó el apoyo correspondiente, el cual consiste en la solicitud de pertinencias técnicas y la posterior compra y trámites asociados.
- En el periodo reportado se concretaron 2 contrataciones nuevas por parte de FCR-CSET y 4 por parte de UC. Una lista de todos los empleados se adjunta en el Anexo N.7-Recursos Humanos-FCR-CSET-UC.
- Actualizaciones a la página web con notas de prensa, información sobre eventos realizados, invitaciones a futuros eventos y presentación de estudios realizados e informes científicos. (ver Anexo N.8 Publicaciones de Difusión y también en <http://www.fraunhofer.cl/es/cset/publicaciones/>).
- Se ha negociado y firmado un acuerdo de cooperación con la industria, la empresa Laborelec Chile de Engielab y otro con el instituto de investigación SERC.
- Firma de memorando de entendimiento con Stellenbosch University, Ciudad del Cabo, Sudáfrica.
- En el mes de diciembre el Prof. Dr. Werner Platzer visitó la Universidad Federal de Santa Catarina en Brasil, con el fin de coordinar el trabajo conjunto que se desarrollará en el marco del MoU firmado entre la UFSC y FCR-CSET.
- Durante el mes de diciembre se llevaron a cabo las evaluaciones de resultado entre los directores de línea y cada uno de los colaboradores de FCR-CSET, con el fin de evaluar el desempeño laboral durante el año 2017 y, asimismo, definir las metas para el 2018. La evaluación va acompañada por un sistema de bonificación para los miembros del personal, el cual está relacionado con el rendimiento laboral de cada persona.
- Prof. Dr. Frank Dinter visitó Fraunhofer ISE la segunda semana de Febrero 2018 con la finalidad de conocer las capacidades y evaluar potenciales transferencias tecnológicas entre Chile y Alemania.
- Las reuniones informativas de salud y seguridad para los empleados se organizan regularmente. Durante el periodo reportado tuvo lugar el seminario sobre Trastornos Musculo esqueléticos Relacionados al Trabajo (TMRET), el 13.11.2017 y sobre Manejo de Riesgos Psicosociales en el trabajo, el cual tuvo lugar el 10.11.2017.

- El 4to Informe de Avance Técnico fue aprobado por CORFO y se hizo entrega del Informe de Continuidad, le cual también fue aprobado. El FCR-CSET cuenta con la aprobación para iniciar su segunda fase, la cual culminará en febrero 2021.
- Realización de Seminario Solar, el cual se explica detalladamente en línea de Calor Solar, por ser, en esta ocasión, la línea responsable de la organización del seminario.

### 2.1.2 Línea N°2 de I+D Electricidad Solar

<b>Fecha de Inicio:</b>	13/02/2015
<b>Fecha de Término:</b>	13/02/2018
<b>% Avance programado:</b>	100%
<b>% Avance Real:</b>	90%

#### Objetivo General:

- Prueba y monitoreo del desempeño y durabilidad de componentes solares en diferentes zonas climáticas.
- Certificaciones de calidad individuales y monitoreo de proyectos solares para asegurar su calidad y mantener la confianza de los inversionistas.
- Fuente de datos solares de alta calidad para Chile, con el propósito de apoyar el acceso a financiamiento y operación de plantas de energía solar.
- Apoyo al desarrollo de nuevos conceptos de almacenamiento y plantas de fuentes híbridas.
- Apoyo al desarrollo estratégico de una economía solar, mediante el análisis y simulación de sistemas.

#### Observaciones:

En la continua búsqueda por fortalecer la industria solar en Chile entregando las herramientas necesarias que faciliten su desarrollo, FCR-CSET sigue realizando investigación de punta y desarrollando las capacidades adecuadas. Como uno de sus cuatro campos de estudios, la línea de Electricidad Solar entrega permanentemente servicios a la industria especialmente a través de la actividad de Recurso Solar. Además, extiende su búsqueda hacia nuevos potenciales negocios en todas las áreas que conforman la línea, basándose principalmente en las investigaciones que continuamente realiza. De esta manera, para el periodo reportado FCR-CSET siguió en esta dirección. Con los nuevos equipos y software adquiridos se están diseñando nuevos proyectos de investigación, mientras que visitas de sus investigadores a instituciones extranjeras han permitido estrechar vínculos de cooperación y renovar ideas en el equipo de trabajo.

Esta área ha mantenido la cantidad de contratos por Evaluación del Recurso Solar reportadas en el periodo anterior. Además, se está comenzando a desarrollar una nueva área de investigación y servicios orientada a la predicción del recurso solar y producción de plantas fotovoltaicas.

En el ámbito de transferencia tecnológica y generación de capacidades tecnológicas, se envió una propuesta para el PROGRAMA TECNOLÓGICO ESTRATÉGICO “PROGRAMA TECNOLÓGICO ESTRATÉGICO “ADAPTACION DE LA OPERACIÓN DE EQUIPOS MÓVILES DE DIESEL A HIDROGENO MEDIANTE CELDAS DE COMBUSTIBLES”. Para esta propuesta se estaría conformando un consorcio entre FCR, Collahuasi, UTFSM, ACHEE, entre otros.

En el marco de los proyectos ejecutados por la UC en calidad de coejecutor, se tienen los siguientes proyectos:

Proyectos de investigación desarrollados por la UC como coejecutor		
RL1 Solar Electricity	Proyecto	Responsable
Evaluación del recurso solar	Pronóstico de radiación solar Potencial Solar y restricciones del terreno - GIS	Rodrigo Escobar Pablo Osses
Calor Solar	Sistema de enfriamiento en CPV/Investigación experimental de transferencia de calor	Amador Guzman
Análisis del sistema eléctrico y la red de transmisión	Switch model: Handling uncertainty and power system Flexibility	Daniel Olivares
	Switch model: Energy policy and technology scenarios	Matias Negrete
	Robust design and economic analysis of transmission grids.	Enzo Sauma
	Risk, renewable energy and complementarity	David Watts

Adicionalmente, la UC da cuenta de la finalización de los siguientes estudios:

Estudios desarrollados por UC		
RL	Nombre	Responsable
RL1	Tecnologías de módulos FV: tendencias actuales y estudios comparativos.	Kerstin Lukrafka
RL1	Desarrollo de herramientas de simulación para plantas de Concentración Solar de Potencia.	Carlos Felbol
RL1	CSP - Technical and economic studies.	Rodrigo Mena
RL1	Factibilidad de distintos conceptos de almacenamiento térmico en alta temperatura.	Carlos Valenzuela

A continuación se presenta una descripción sobre las actividades de la línea planteadas en la carta Gantt del proyecto 13CEI2-21803:

N°	Nombre del proyecto	Institución(es) Líder(es)	Fecha de Inicio	Fecha de Terminó	% Avance programado	% Avance Real
----	---------------------	---------------------------	-----------------	------------------	---------------------	---------------

1	Tecnologías fotovoltaicas y de concentración fotovoltaica	FCR-ICESE	13/02/2015	13/02/2018	100%	95%
---	---	-----------	------------	------------	------	-----

**Observaciones del Proyecto:**

El equipo fotovoltaico participó en la formación y operación actual del comité técnico 82 de la IEC en la representación de Chile. Este comité tiene como objetivo analizar y estudiar las normas fotovoltaicas que se encuentran en proceso de publicación, las cuales están directamente relacionadas con el título de este sub-grupo de trabajo.

Este proyecto se encuentra en etapa de ofrecer servicios avanzados, tales como pruebas de electroluminiscencia, análisis de curva IV, sobrevuelo infrarrojo, inspección visual y optimización de rendimiento eléctrico en plantas fotovoltaicas, entre otros. Se formalizó una colaboración con la empresa Laborelec (Engie Lab) para aunar fuerzas y servir a una mayor parte del mercado.

Durante el último periodo se conformó definitivamente el comité técnico 82 “Solar Photovoltaic Energy Systems” perteneciente a la IEC (International Electrotechnical Commission) en el marco de la representación de Chile. Durante el presente periodo reportado se comenzó la puesta en marcha del comité en sí mismo, en donde ya fueron evaluados dos estándares y se planificó el trabajo para el año 2018 en donde Fraunhofer Chile juega un rol fundamental.

Continúa la colaboración con la Universidad de Antofagasta y su Plataforma Solar del Desierto de Atacama (PSDA) donde están desarrollando dos estudios: análisis de ensuciamiento y performance de módulos bifaciales. También, se ha instalado un equipo de precisión llamado PV Stand, el que puede caracterizar hasta 16 paneles simultáneamente, con el fin de apoyar también al Programa Tecnológico AtaMosTec (Módulo Solar en el Desierto de Atacama). De esta manera, será posible probar prototipos de paneles fotovoltaicos en condiciones desérticas reales.

En el marco de los proyectos desarrollados por el coejecutor, el proyecto “Pronóstico de Radiación Solar”, dirigido por el profesor Rodrigo Escobar, da cuenta de un avance del 85%. En el Anexo N.6 de este informe se presentan los resultados obtenidos según la utilización de métodos de predicción basados en el modelo de persistencia, los cuales se evaluaron como métodos de predicción de la irradiancia. También, se llevó a cabo la correlación entre los márgenes de incertidumbre de radiación y la caracterización del efecto de la evaluación de la variabilidad y de efecto sobre la reducción de energía. Diferentes horizontes temporales fueron evaluados y los errores resultantes se cuantificaron a alta y baja variabilidad. Los resultados del análisis se pueden consultar en el Anexo N.6 – Proyectos UC.

Por su parte, el proyecto liderado por el Prof. Pablo Osses relacionado con Potencial Solar y restricciones del terreno – GIS, da cuenta de un 85% de avance. En la actualidad, el proyecto se encuentra en etapa de sistematización de la información referenciada, con la cual se busca estimar del Potencial Solar Efectivo (PSE) existente en las regiones de Tarapacá y Metropolitana.

Información detallada sobre la metodología utilizada se puede consultar en el Anexo N.6 – Proyectos UC.

El proyecto del profesor Amador Guzman sobre Sistema de enfriamiento en CPV/Investigación experimental de transferencia de calor, presenta un 75% de avance. El proyecto hace un análisis experimental del sistema de enfriamiento de una celda fotovoltaica con concentración (CPV), mediante mini canales, con el objetivo de mejorar la eficiencia de una celda CPV. Información detallada en Anexo N.6 – Proyectos UC.

En cuanto a Concentración Fotovoltaica, durante este periodo se ha instalado finalmente el segundo sistema CPV de 3.2 KWc en las dependencias de la Universidad Técnica Federico Santa María, campus Santiago, en el marco del convenio de colaboración con la empresa BOZZENERGY. De esta manera se ha completado la instalación del segundo sistema y ambos ya se encuentran en etapa de configuración y calibración para registro de datos para análisis y estudio.

<b>2</b>	<b>Tecnologías de Concentración Solar de Potencia</b>	<b>FCR-ICESE</b>	<b>01/08/2015</b>	<b>13/02/2018</b>	<b>100%</b>	<b>80%</b>
----------	---	------------------	-------------------	-------------------	-------------	------------

**Observaciones del Proyecto:**

Se avanza en la tesis de investigación del Ingeniero Civil Mecánico de la UTFSM el Sr. Victor Estrada correspondiente a estudios locales de reflectancia de espejos de colectores solares, tasas de ensuciamiento y caracterización del polvo de un sitio del desierto de Atacama, mediante exposición de muestras de espejos en terreno.

Se ha trabajado en conjunto con el profesor Javier Recio de la Universidad Católica para la instalación de un rack de corrosión en las cercanías de Diego de Almagro, estación de medición CODESSER, el cual se encarga de estudiar el deterioro de distintos metales que se utilizan en sistemas de energía solar a lo largo de un cierto periodo bajo condiciones reales del desierto.

<b>3</b>	<b>Análisis del Sistema eléctrico y la red de transmisión</b>	<b>FCR-ICESE</b>	<b>01/06/2015</b>	<b>13/02/2018</b>	<b>100%</b>	<b>90%</b>
----------	---	------------------	-------------------	-------------------	-------------	------------

**Observaciones del Proyecto:**

El proyecto “Switch model: Handling uncertainty and power system Flexibility” liderado por el profesor Daniel Olivares y el proyecto “Switch model: Energy policy and technology scenarios”, liderado por el profesor Matias Negrete, en conjunto dan cuenta de un 75% de avance al cierre del presente informe. Dicho proyecto consta de dos fases, la primera correspondiente a Manipulación de incertidumbre y Flexibilidad del sistema eléctrico, la cual se encuentra finalizada en un 100%. Actualmente se adelantan las tareas comprendidas en la segunda fase, correspondiente a: Análisis de la política y la tecnología energética, escenarios de Chile. Información detallada puede consultar en el Anexo N.6 – Proyectos UC, bajo el nombre del proyecto.

En otro frente, el proyecto “Robust design and economic analysis of transmission grids”, liderado por el profesor Enzo Sauma, da cuenta de un avance del 100% al cierre del presente informe. El principal objetivo del proyecto fue desarrollar un modelo de expansión de la capacidad del sistema eléctrico que co-optimizara la expansión de la generación y transmisión y considerara distintos niveles de coordinación entre los agentes del mercado. Adicionalmente, el proyecto buscó estudiar la influencia del ordenamiento territorial en la planificación de la expansión de la transmisión eléctrica. Como resultado final, se desarrollaron dos manuscritos con los principales resultados del estudio. Ambos se pueden consultar en Anexo N.6 – Proyectos UC, bajo el nombre del proyecto.

Por su parte, el proyecto “Risk, renewable energy and complementarity”, liderado por el profesor David Watts, da cuenta de un 100% de avance. Vale la pena destacar que el proyecto contempló la inclusión de dos variables fundamentales de los sistemas de energía, la red de transporte y la capacidad de almacenamiento de la misma. A partir de diferentes modelos matemáticos y del desarrollo de modelos de producción de energías renovables, el proyecto juntó todas las variables y ejecutó modelos del uso óptimo de almacenamiento, la transmisión, la producción renovable y su complementariedad. Todo esto con el fin de mejorar la toma de decisiones privada y centralizada y compararse con la planificación tradicional. Anexo N.6 – Proyectos UC, bajo el nombre del proyecto.

4	Resource Assessment	FCR-CSET	13/02/2015	13/02/2018	100%	95%
---	---------------------	----------	------------	------------	------	-----

**Observaciones del Proyecto:**

El servicio de evaluación de recurso solar se realiza con equipos adquiridos por el cliente. Estos equipos corresponden a estaciones autónomas de tipo Rotating Shadowband Irradiometer (RSI). Por su parte, el centro FCR-CSET está adquiriendo una estación de medición de tipo RSI con el fin de ofrecer servicios de evaluación del recurso solar.

Se finalizó la instalación de una estación de medición y monitoreo en Diego de Almagro, donde se realiza evaluación de recurso solar, mediante equipo tipo Rotating Shadowband Irradiometer (RSI) y sensores climáticos adicionales.

Para mayor detalle sobre los proyectos y actividades desarrollados en la línea de investigación Electricidad Solar, consultar el **Anexo No. 2: Electricidad Solar**.

**2.1.3 Línea N°3 de I+D Calor Solar:**

<b>Fecha de Inicio:</b>	13/02/2015
<b>Fecha de Término:</b>	13/02/2018
<b>% Avance programado:</b>	100%

<b>% Avance Real:</b>	100%
-----------------------	------

**Objetivo General:**

- Integración de tecnologías solares térmicas en procesos industriales para calentar, enfriar, secar, esterilizar, lavar o para cualquier proceso de tratamiento con temperatura.
- Desarrollo de sistemas de solución para combinar calor con energía y conceptos de poli-generación.
- Apoyo a conceptos de eficiencia energética, incluyendo la optimización de la distribución del calor, reducción de pérdidas térmicas y esquemas para la integración de energías renovables.

**Observaciones de la Línea:**

Durante el periodo del presente informe, la línea de Calor Solar, da cuenta de los siguientes alcances logrados:

- Organización del Seminario Solar “Usos del Calor Solar en la Generación de Vapor para la Industria Alimentaria”, realizado el 24 de noviembre de 2017 en la sede San Joaquín de la UC. Durante el seminario, expertos nacionales e internacionales presentaron información sobre las tecnologías solares disponibles en el mercado que permiten generar calor para la generación de vapor en los procesos industriales alimentarios, sus metodologías de integración y desafíos en la implementación, y posibles esquemas de financiamiento.
- Estudio de tecnologías de integración de calor a procesos industriales de tipo discontinuo.
- Estudio de sistemas de monitoreo (este informe no se compartirá al público, es para uso interno de FCR-CSET).
- El estudio referido en el anexo del informe de continuidad como Study CSET-2017-PUB-004: “Potencial Vapor Solar Térmico en Chile para Procesos Industriales”.
- Contratación de los estudiantes Camila Correa y Pablo Castillo.

En el marco de los proyectos ejecutados por la UC en calidad de coejecutor, se tienen los siguientes proyectos:

<b>Proyectos Desarrollados por la PUC como coejecutor</b>		
<b>RL2</b>	<b>Proyecto</b>	<b>Responsable</b>
Proyecto en conjunto con RL1-Electricidad solar y RL2-Calor en procesos industriales	Metodología de predicción de materiales en CSP	Magdalena Walczak
	Corrosión en sistemas solares y plantas desalinizadoras	Francisco Javier Recio
<b>Estudios desarrollados por UC</b>		
RL2	Estudios de factibilidad en el uso de la energía solar para procesos de calor y frio para la industria chilena.	Eduardo Salas
RL2	Estudios de factibilidad en el uso de la energía solar para procesos de calor y frio para la industria chilena.	Estefania Quevedo



RL2	Modelación del desempeño de sistemas de refrigeración por absorción en TRNSYS.	Gonzalo Quiñones
-----	--	------------------

A continuación se presenta una descripción sobre las actividades de la línea planteadas en la carta Gantt del proyecto 13CEI2-21803, para mayor detalle consultar el **Anexo No. 3: Calor Solar**:

N°	Nombre del proyecto	Institución Líder	Fecha de Inicio	Fecha de Terminación	% Avance programado	% Avance Real
1	Calor solar para procesos	FCR-CSET	13/02/2015	13/02/2018	100%	100%

**Observaciones del Proyecto:**

Las tecnologías de calor solar de procesos son una oportunidad interesante para la industria. Sin embargo, no todas estas tecnologías están maduras y es necesario abordar los distintos retos, como el desarrollo de materiales, diseño de componentes, optimización óptica y caracterización, operación y seguimiento, entre otros. Además se debe investigar sobre las condiciones locales para convencer a los clientes de la seguridad de estos sistemas.

En este periodo se ha terminado el estudio de potencial tecno-económico de generación de vapor mediante energía solar. También se han creado varios modelos TRNSYS para la simulación de diversos esquemas y se ha desarrollado un código de cálculo en Matlab para colectores cilindro-parabólicos.

El informe de intercambiadores de calor finalizado este periodo permite cálculos económicos de intercambiadores de calor y avanzar con la investigación de intercambiadores de calor novedosos. También se ha realizado una revisión de los materiales de almacenamiento latente y metodologías de integración de almacenamiento en redes de calor industriales.

El proyecto “Metodología de predicción de materiales en CSP” liderado por la profesora Magdalena Walczak, en el marco de proyectos ejecutados por la UC, da cuenta de un 70% de avance al cierre del presente informe de avance. El proyecto realizó una revisión de las metodologías más adecuadas para predecir el inicio de la corrosión localizada en aleaciones metálicas empleadas en almacenamiento de energía térmica de plantas CSP, a partir de ese análisis realizó simulaciones sobre las condiciones del servicio de almacenamiento térmico. Una vez operativa la estación de medición experimental, se realizaron diversos ensayos de laboratorio que simulaban las condiciones de servicio, con distintos materiales y tiempos de exposición. Los resultados obtenidos fueron analizados y validados con técnicas complementarias de análisis. A la fecha, se encuentra en preparación un artículo científico con los resultados obtenidos. Anexo N.6 – Proyectos UC, bajo el nombre del proyecto.

En paralelo, el proyecto “Corrosión en sistemas solares y plantas desalinizadoras”, liderado por el profesor Francisco Javier Recio, de la UC, presenta un avance del 75%. El proyecto analizó niveles de corrosividad en tres locaciones, a saber: Diego de Almagro, Carrera Pinto (ambas en Copiapó) y

en la región metropolitana de Santiago. Por medio de la corrosividad detectada en diferentes metales en las diferentes localidades, se puede medir el nivel de corrosividad atmosférica estacional en dichos lugares. Para mayor detalle consultar Anexo N.6 – Proyectos UC, bajo el nombre del proyecto.

2	<b>Generación combinada a baja escala de calor, energía y/o frío</b>	FCR-CSET	01/08/2015	13/02/2018	100%	100%
---	--	----------	------------	------------	------	------

**Observaciones del Proyecto:**

Los sistemas que combinan la generación de calor y electricidad mejoran la viabilidad económica del sistema si se ajustan a las curvas de demanda, especialmente para aplicaciones off-grid, donde la solución habitual son los generadores diésel. Entre los objetivos de este proyecto están los estudios de viabilidad mediante simulación. En este proyecto se ha realizado un estudio de potencial de refrigeración solar y un análisis de funcionamiento de sistemas de ciclos Rankine orgánicos.

3	<b>Mediciones de eficiencia energética en la industria, comercio y agricultura</b>	FCR-CSET	01/06/2015	13/02/2018	100%	100%
---	--	----------	------------	------------	------	------

**Observaciones del Proyecto:**

Este proyecto incluye trabajos como la identificación de medidas de eficiencia energética y el análisis de la posibilidad de integración de calor solar en los procesos industriales para la reducción de consumo de combustibles fósiles.

En este periodo se realizó un análisis de los consumos energéticos por sectores y procesos de la industria chilena, con el ánimo de identificar aquellos procesos caracterizados como con mayor potencial de integración de energía solar y, se han desarrollado capacidades de análisis pinch para desarrollar, en un futuro, la aplicación de esta metodología a sistemas solares.

En este proyecto se destaca el mantenimiento de los sistemas que FCR-CSET ha detectado como aspecto clave. De acuerdo con este objetivo se han recopilado metodologías de monitoreo, herramientas como la web para mejor control de los proyectos y se están desarrollando ideas novedosas como la aplicación de machine learning al mantenimiento de sistemas solares, iniciando por una revisión bibliográfica del tema.

**2.1.4 Línea N°4 de I+D Tratamiento de Aguas:**

<b>Fecha de Inicio:</b>	13/02/2015
<b>Fecha de Término:</b>	13/02/2018
<b>% Avance programado:</b>	100%
<b>% Avance Real:</b>	94%

**Objetivo General:**

- Desarrollo de sistemas de desalinización térmicos, mediante calor residual o calor solar, basados en tecnología de destilación de membranas.
- Pequeños y medianos sistemas de osmosis inversa accionados por sistemas fotovoltaicos, así como tecnologías de ultrafiltración, desintoxicación y sanitización.
- Sistemas de simulación y desarrollo de herramientas de diseño individual.

**Observaciones de la Línea:**

En el periodo del presente informe la línea se ha enfocado en el desarrollo de propuestas privadas y públicas con el objeto de obtener fondos para el desarrollo de conceptos piloto. Además, adelanta labores de investigación para el desarrollo y aplicaciones de nuevos conceptos de tratamiento de aguas por medio de energía solar. En este contexto, se han logrado los siguientes hitos:

- Finalización y entrega final de estudio de optimización de costos de tecnología de Membrana de Destilación para la industria privada, utilizando calor de rechazo.
- Entrega final de propuesta “Brine Mine” para el desarrollo de un concepto piloto de Membrana de Destilación acoplado a una planta geotérmica.
- Finalización de estudios de PV-RO (Osmosis Inversa alimentada por sistemas fotovoltaicos), y tecnologías de tratamiento de aguas con energía solar, enfocándose en la agroindustria, vitivinícola, forestal y minera.
- Estudios e investigación de conceptos de Fotocatálisis y sistemas de Destilación Solar a pequeña escala, estudiando además la factibilidad de su aplicación en la agroindustria.
- Desarrollo de propuesta a fondos públicos para desarrollar un concepto piloto de un sistema de tratamiento de agua de sistemas hidropónicos por medio de un concepto innovador de fotocatalisis.
- En el marco de los proyectos ejecutados por la PUC en calidad de coejecutor, se tienen los siguientes proyectos:

Proyectos Desarrollados por la PUC como coejecutor		
RL	Proyecto	Responsable

Tratamiento de Agua	Desarrollo de Membrana. Modelación de sistema de destilación de membrana – utilización dinámica de los fluidos computacional (CFD)	Francisco Suarez
Tratamiento de Agua	Producción de Membranas. Desarrollo de membranas superhidrofóbicas basadas en polímeros y nano partículas para el uso de destilación de membranas	Alan Tundidor

Además de los estudios:

Estudios desarrollados por UC		
RL3	Sewage system (WWS): Research suitable technologies.	Patricio Burdiles
RL3	Development concept of PV-RO system.	Patricio Burdiles
RL3	PV-RO desalination Study. Costs- efficiency.	Patricio Burdiles
RL3	Concept development system for sewage treatment Chile (WWT).	Patricio Burdiles

A continuación se presenta una descripción sobre las actividades de la línea planteadas en la carta Gantt del proyecto 13CEI2-21803, para consultar el detalle de los proyectos consultar el Anexo N.4- Tratamiento de Aguas:

N°	Nombre del proyecto	Institución(es) Líder(es)	Fecha de Inicio	Fecha de Terminación	% Avance programado	% Avance Real
1	Destilación de Membranas	FCR-ICESE	01/05/2015	13/02/2018	100%	81%
<p><b>Observaciones del Proyecto:</b></p> <p>A fines de septiembre de 2017 se termina el estudio de reducción y sensibilidad de costos, correspondiente a la extensión del estudio sobre uso de la tecnología MD en conexión con el uso industrial de la tecnología de lagunas cristalinas, para enfriamiento de plantas térmicas, aprovechando calor de desecho del proceso para impulsar el proceso de MD. Finalmente, se obtiene que el costo de las membranas y los módulos de éstos, son los factores que afectan mayormente al costo total del sistema. Otro factor importante corresponde a la estimación del costo de mano de obra, donde se encuentra un factor de reducción de costos operacionales.</p> <p>Posterior a la revisión de este estudio por parte de la empresa privada, se solicitó el costo de una planta piloto considerando capacidades de 1 y 5 m<sup>3</sup>/h, este fue enviado y se espera que la empresa determine la fabricación e instalación de una planta piloto durante el año 2018.</p> <p>Adicionalmente, en el mes de octubre de 2017 se realizó la prestación a la línea Prototipos de CORFO el proyecto Brine Mine, concepto impulsado por Fraunhofer, que utiliza aguas geotermales para producir agua purificada y recuperar minerales valiosos, por medio de un sistema de destilación por membrana, complementado con osmosis inversa y un proceso de cristalización.</p>						

Este proyecto cuenta con el apoyo de Geotérmica del Norte (GDN), propietario de Cerro Pabellón, primera planta geotérmica de Latinoamérica; además, cuenta con el apoyo de un consorcio de entidades alemanas para el desarrollo de la investigación, diseño y fabricación del prototipo. Al cierre del presente informe, es de nuestro conocimiento que la postulación fue rechazada y no fueron adjudicados recursos para el proyecto; por lo anterior se analizan otras fuentes de financiamiento para invertir en el proyecto.

Por su parte, el proyecto “Desarrollo de Membrana. Modelación de sistema de destilación de membrana – utilización dinámica de los fluidos computacional (CFD)”, liderado por el profesor Francisco Suarez, presenta un avance del 80%. El proyecto desarrolló un modelo 2D en Openfoam, para representar el transporte de masa, calor y especies en una membrana de destilación sin fouling. Posteriormente validó el modelo con diferentes configuraciones, dos con configuración DCMD y uno con PGMD y desarrolló una rutina en MATLAB y PHREEQC para estimar el tiempo de cristalización de las sales en una membrana de destilación. Finalmente calcula el tiempo de residencia y el tiempo de inducción. Luego de validar los modelos y diseñar mallas en Gmsh para módulos con configuración DCMD con espaciadores en zig-zag promovedores de turbulencia, los pasos siguientes serán correr simulaciones con membranas con espaciadores para estudiar el efecto que tiene el número y diámetro de los espaciadores, la temperatura y la velocidad de la solución de entrada en la membrana, sobre el tiempo en que ocurre el fouling y terminar el informe final para posterior publicación en revista científica. Ver Anexo N.6 – Proyectos UC, bajo el nombre del proyecto.

En paralelo, el proyecto “Producción de Membranas. Desarrollo de membranas superhidrofóbicas basadas en polímeros y nano partículas para el uso de destilación de membranas”, liderado por el profesor Alan Tundidor, presenta un avance del 61%. Dentro de los avances reportados, en el marco del proyecto se realizaron pruebas para diseñar y preparar membranas super-hidrofóbicas compuestas por distintas formulaciones de polímeros hidrofóbicos comerciales, polímeros con un menor grado de hidrofobicidad comerciales y sintéticos y nanopartículas de óxidos metálicos (TiO<sub>2</sub>, ZnO, SiO<sub>2</sub> y CuO). Debido a la constante búsqueda bibliográfica, se encuentra que las membranas de PVDF se pueden soportar sobre una tela de poli(éster) no tejido, por el método de inversión de fase. Por lo que se decide probar esta técnica con la mezcla PVDF-CuO y usando un soporte de 5x5 cm con el objetivo de comprobar si se puede preparar esta membrana. Las membranas soportadas resultaron ser exitosas y se logra escalar a una membrana de 20x20 cm. Actualmente, nos encontramos haciendo un estudio con 10 membranas de PVDF-CuO soportadas a distintas concentraciones de nanopartículas con el objetivo de definir cuál es la concentración óptima en la formulación de la mezcla. Este estudio nos permitirá definir las condiciones para preparar una membrana que podría ser probada en un módulo a escala piloto.

En la primera Etapa se consideraba realizar un 70 % (Avance programado) del Proyecto Total y se logra un 56 % (Avance Real) debido a que no se pudo realizar el estudio con todas las nanopartículas definidas en el Proyecto. El 30 % restante para la Etapa 2 considera el uso de otras nanopartículas metálicas u óxidos metálicos, los ensayos de permeabilidad de las membranas en prototipos de módulos de membrana a nivel de laboratorio y los ensayos biológicos con aquellas membranas que contengan cobre para probar su propiedad de *anti-biofouling*. Ver Anexo N.6 – Proyectos UC, bajo el nombre del proyecto.

<b>2</b>	<b>Sistemas de osmosis inversa accionados por sistemas fotovoltaicos</b>	<b>FCR-ICESE</b>	<b>01/07/2015</b>	<b>13/02/2018</b>	<b>100%</b>	<b>94%</b>
<p><b>Observaciones del Proyecto:</b></p> <p>En esta área se desarrolló, en conjunto con la Universidad Católica, un informe que da cuenta del estado del arte de esta tecnología y de la factibilidad de su uso en Chile. Este estudio indica que esta es una tecnología conocida en sistemas de pequeña escala, sin embargo debe seguir siendo estudiada, especialmente cuando se utiliza como complemento de sistemas de producción agrícola como lo es la hidroponía o el cultivo en sustratos en invernaderos, de manera que se pueda tratar y reutilizar el agua para regadío.</p> <p>Junto con lo anterior, han continuado los acercamientos a realizar conceptos para proyectos de agricultura off-grid, para realizar el tratamiento de aguas salobres continentales, especialmente en la zona norte del país. A futuro se proyecta desarrollar en conjunto proyectos que incluyan desde el diseño del sistema de tratamiento, bombeo y almacenaje de agua, y los sistemas fotovoltaicos que alimenten dichos sistemas hidráulicos.</p>						
<b>3</b>	<b>Tratamiento de agua</b>	<b>FCR-ICESE</b>	<b>01/10/2015</b>	<b>13/02/2018</b>	<b>100%</b>	<b>50%</b>
<p><b>Observaciones del Proyecto</b></p> <p>En esta actividad concluyó el estudio de dos tecnologías para el tratamiento de aguas por medio de energía solar: Fotocatálisis y Destilación solar térmica a pequeña escala.</p> <p>La fotocatálisis corresponde a un Proceso Avanzado de Oxidación (AOP), cuyo objetivo es la generación de radicales OH, que descomponen todo tipo de compuestos orgánicos. Este método usa la luz solar como entrada de energía primaria en presencia de un fotocatalizador, como por ejemplo el dióxido de titanio TiO<sub>2</sub>. Estos sistemas no requieren de adición de químicos. Existen dos formas de realizar la reacción de fotocatálisis. Una corresponde a la fotocatálisis homogénea, donde el TiO<sub>2</sub> se mezcla con el agua a tratar, la cual se irradia con luz UV para generar la reacción. El otro tipo corresponde a la fotocatálisis heterogénea, donde se recubre una superficie con TiO<sub>2</sub>, por donde se hace pasar el agua a tratar.</p> <p>En este ámbito se ha desarrollado un concepto de tratamiento por medio de fotocatálisis heterogénea para tratar agua de sistema NFT de hidroponía (sistema cerrado). El concepto considera un reactor tipo tubo de doble pared. La pared exterior permeable a los rayos UV, y la pared interior están recubierta con TiO<sub>2</sub> y reflectante. El espacio intermedio entre las dos paredes</p>						

se rellena con materiales portadores, cuya superficie también está revestida con  $TiO_2$ , aumentando el área de contacto del agua con el reactivo.

El segundo concepto estudiado corresponde los sistemas de destilación solar a pequeña escala, específicamente sistemas de destilación solar evacuada multietapa. Este sistema corresponde a una combinación de colectores planos y un sistema de condensación evaporativa. Los colectores planos proporcionan la energía requerida para elevar la temperatura del fluido, y en cada una de las etapas de evaporación se dispone de bombas de vacío impulsadas por energía solar fotovoltaica, de manera que puedan generar una depresión y de esta forma la temperatura requerida para evaporar el agua es menor.

Estos sistemas corresponden a un método sustentable para destilar agua. Según lo estudiado, estos sistemas son de fácil operación, bajo costo de inversión y mantenimiento. Con lo anterior, esta tecnología es factible de utilizar en zonas con escasez de recurso hídrico y que se encuentran alejadas de redes eléctricas, con la opción de tratar aguas salobres o de calidad no apropiada para el consumo humano o la actividad agrícola.

En ambos desarrollos se han realizado colaboraciones con institutos Fraunhofer como por ejemplo: Fraunhofer IST (Institute for Surface Engineering and Thin Films), para el estudio de aplicaciones de fotocatalisis con recubrimiento de dióxido de titanio, y además con Fraunhofer IGB (Institute for Interfacial Engineering and Biotechnology), para desarrollo de conceptos de destilación a pequeña escala.

### 2.1.5 Línea N°5 Desarrollo de Negocios:

<b>Fecha de Inicio:</b>	01/10/2014
<b>Fecha de Término:</b>	31/01/2018
<b>% Avance programado:</b>	100%
<b>% Avance Real:</b>	100%

#### Objetivo General:

Dentro de los objetivos definidos para el área de negocios se tiene:

- Apoyar a las líneas de investigación en la consecución de proyectos y contratos con la industria, a través de identificar oportunidades de negocios, preparación de estudios de mercado y obtención de información estratégica para el desarrollo de negocios
- Obtención de recursos adicionales para el desarrollo del fondo, de origen público y privado
- Apoyo a las políticas gubernamentales para el desarrollo de una economía solar en Chile
- Contribución a la inserción del Centro a la comunidad nacional e internacional de I+D

**Observaciones de la Línea:**

En el periodo a reportar se logró avance significativo en la consolidación tanto de los proyectos basales, como en proyectos adicionales, financiados con fondos públicos como con fondos privados, mediante modalidad contract-research.

En cuanto al objetivo “Apoyo a las políticas gubernamentales para el desarrollo de una economía solar en Chile”, en la etapa reportada previamente del proyecto Solar Cluster se logró consolidar la participación de FCR-CSET en las mesas de trabajo del Programa Estratégico Solar, que tomó forma definitiva con su presentación ante el Fondo de Inversiones Estratégicas del Ministerio de Economía, derivando en la convocatoria del programa Bienes Públicos Estratégicos de Alto Impacto para la Competitividad. En dicha convocatoria, FCR-CSET se adjudicó el programa Bienes Públicos Corredor Solar de la Cuenca del Salado, que pasa a constituir parte importante del Proyecto Basal “Calama Solar”, y además logró su adjudicación como Coejecutor del proyecto Bienes Públicos “Plataforma de Innovación Solar”, adjudicado a Fundación Chile. Ambos proyectos se encuentran a la fecha en pleno desarrollo y avanzando de acuerdo con sus respectivas Cartas Gantt. Además en el periodo reportado se terminaron y entregaron los Informes de las Estrategias Energéticas Locales de Diego de Almagro y Chañaral.

En cuanto al objetivo “Obtención de recursos adicionales para el desarrollo del fondo, de origen público y privado”, en el proyecto Agro PV, financiado con fondos del GORE de la Región Metropolitana, se da por finalizado el 100% de los trabajos de instalación de las tres plantas fotovoltaicas pilotos. Durante este periodo se desarrollaron las actividades de transferencia de conocimiento del proyecto a la comunidad, con la realización de un seminario de importante asistencia el día 23 de noviembre, al cual asistió el Sr. Claudio Orrego, Intendente de Santiago, en el cual se presentaron las conclusiones del proyecto. Entre los días 20 y 30 de noviembre expertos alemanes visitaron el proyecto. El día 29 de diciembre se obtuvo la aprobación de SEC (Superintendencia de Electricidad y Combustibles) para la conexión de las tres plantas a las redes de distribución respectivas, bajo modalidad Net Metering (Ley 20571). Talleres en terreno realizados para difusión y capacitación de beneficiarios Agro PV.

En cuanto al objetivo “Apoyar a las líneas de investigación en la consecución de proyectos y contratos con la industria, a través de identificar oportunidades de negocios, preparación de estudios de mercado y obtención de información estratégica para el desarrollo de negocios proyectos con empresas privadas”, se desarrollaron las instancias de entrega del producto derivado del desarrollo de un software de optimización de gestión óptima de soiling con el principal operador de plantas fotovoltaicas de gran escala a nivel nacional, y además se obtuvo cofinanciamiento Corfo (Voucher de Innovación) para Validación de uso de cámaras de cielo fabricadas en Chile para la realización de NowCasting en plantas solares en general. Proyecto adjudicado a ObsTech, (spin-off UC Astronomía), en el cual CSET es subcontrato tecnológico. Adicionalmente, en conjunto con la Línea Solar Térmica, se inició el trabajo de análisis y estudio de oportunidades de aplicación de energía solar en una industria de alimentos y en una faena minera de gran escala.

En cuanto al objetivo “Contribución a la inserción del Centro a la comunidad nacional e internacional de I+D”, se continua con trabajo conjunto con Fundación Chile y Universidad de Chile en proyectos Bienes Públicos descritos precedentemente, y en el plano internacional, se trabaja de manera conjunta con Universidad Federal de Santa Catarina (Brasil) en postulación a licitación internacional, y se abre



nuevo proyecto de colaboración con Fraunhofer ISE, Centro del Hidrógeno de España y Universidad Técnica Federico Santa María (Nacional) en el estudio de la conformación de un consorcio para presentar propuesta en llamado de H2 para Gran Minería de CORFO.

Durante el periodo reportado, cabe destacar los siguientes hitos en el desarrollo de la Línea Business Development:

- Proyectos Bienes Públicos “Corredor Solar de la Cuenca del Salado”, avanza de acuerdo a Carta Gantt, se hace entrega de Informe de Avance 2 el 31 de enero 2018.
- Bienes Públicos “Plataforma de Innovación Solar” (Fraunhofer CSET es coejecutor), avanza de acuerdo a Carta Gantt, se hace entrega de Informe de Avance el 31 de enero 2018. El 10 de enero se realiza lanzamiento oficial de la Plataforma en Fundación Chile.
- Informes Estrategias Energéticas Locales de Diego de Almagro y Chañaral aprobados y entregados.
- En desarrollo proyecto de análisis oportunidades energía solar para empresa del rubro alimentos, (procesamiento de carnes).
- En desarrollo proyecto de levantamiento necesidades térmicas para campamento minero de gran escala, 4000 personas, para aplicación de energía solar.

A continuación se presenta una descripción sobre las actividades de la línea planteadas en la carta Gantt del proyecto 13CEI2-21803:

N°	Nombre del proyecto	Institución(es) Líder(es)	Fecha de Inicio	Fecha de Terminación	% Avance programado	% Avance Real
1	Solar Cluster	FCR-CSET	01/10/2014	13/02/2018	100%	100%
<p><b>Observaciones del Proyecto</b></p> <p>Proyecto concluido, derivó en adjudicación de proyectos Bienes Públicos “Corredor Solar Cuenca del Salado” y “Programa de Innovación Abierta Solar” (en este último CSET opera en calidad de Coejecutor).</p>						
2	Plataforma Solar del Desierto de Atacama	FCR-CSET	01/01/2015	13/02/2018	100%	100%
<p><b>Observaciones del Proyecto:</b></p> <p>Proyecto concluido, alta vinculación en la práctica con proyecto anterior.</p>						
3	Calama Solar	FCR-CSET	01/08/2015	13/02/2018	100%	100%
<p><b>Observaciones del Proyecto:</b></p>						

Como se indicó en el proyecto Solar Cluster, en la convocatoria del programa Bienes Públicos Estratégicos de Alto Impacto para la Competitividad, realizada durante el segundo semestre de 2016, FCR-CSET se adjudicó el programa Bienes Públicos Corredor Solar de la Cuenca del Salado, que pasa a constituir el hito prácticamente final del Proyecto Basal “Calama Solar”.

En este proyecto se ha hecho un levantamiento socio-económico-urbano y productivo de la zona de Diego de Almagro, identificando las condiciones sobre las cuales se trabajará. En paralelo se realizó un levantamiento de la red eléctrica de distribución, en conjunto con perfiles de generación fotovoltaica y demanda de alta granularidad temporal, permitiendo así realizar simulaciones de alta calidad de flujos de potencia desbalanceados. Esto nos permitirá comprender las limitaciones técnicas de instalar sistemas fotovoltaicos considerando la red actual. Acto seguido se optimizará la red de forma de maximizar la capacidad de alojamiento de sistemas fotovoltaicos considerando nuevas tecnologías (almacenamiento, control inteligente de inversores, entre otras).

El objetivo principal busca definir un modelo de toma de decisiones para intervenir una ciudad/barrio en Diego de Almagro y generar alta penetración de energía solar con sentido de apropiación social, cultural y de valor económico. Mediante un análisis multidimensional (social, económico, técnico, regulatorio, financiero) es posible determinar la mejor forma de desarrollar la energía solar fotovoltaica distribuida en redes de distribución eléctrica. El trabajo se realiza en conjunto con el Centro de Energía, el Observatorio de Ciudades y el Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

Adicionalmente, en el periodo reportado se concluyó durante el mes de diciembre 2016 y enero 2017, el trabajo de terreno en Diego de Almagro y Chañaral para el desarrollo de las Estrategias Energéticas Locales, con la realización de los Talleres de validación con la comunidad de estrategia y proyectos propuestos. En este momento, se han terminado y entregado los Informes finales de ambas estrategias, para ambas ciudades, estando dichos borradores en proceso de ajuste y revisión con las contrapartes de Corfo y Ministerio de Energía.

A la fecha se continúa con avance en el proyecto según Carta Gantt. El 31 de enero de 2018 se entregará Informe de Avance 2, y en estos momentos se afina y detalla el desarrollo de Planta Piloto a ser instalada en localidad de Diego de Almagro.

El proyecto Estrategias Energéticas Locales entregó además información de relevancia que alimentará el desarrollo del Bien Público Corredor Solar de la Cuenca del Salado.

4	Standardization, Certification	FCR-CSET	01/05/2015	13/02/2018	100%	100%
---	--------------------------------	----------	------------	------------	------	------

**Observaciones del Proyecto:**

En relación con los proyectos de Calidad, se trabajó en forma coordinada con las líneas de investigación técnicas, en particular con la línea de investigación de Electricidad Solar. Se apoya en desarrollo de contactos, reuniones y gestión de posibles proyectos. Se ha participado además de

manera activa en la mesa de trabajo coordinada por INN y Programa Estratégico Solar de Corfo, relativa a desarrollar un sistema nacional de calidad para la industria solar en Chile. En cuanto a contacto con la industria, se continúa con el trabajo de levantamiento de necesidades existentes en el mercado, con el fin de contribuir a diseñar y preparar actividades y servicios que satisfagan adecuadamente dichas necesidades.

## 2.2 Avance en Indicadores de resultados y de Impacto

### 2.2.1 Avance en Indicadores de Resultados y Metas

Indicadores Estructurales y de Operación (Cualitativos)	Periodo Actual (Logrado/Pendiente)
Constitución legal del CEI-Chile (en caso de no contar con él al inicio).	Logrado
Instalaciones físicas habilitadas en Chile.	Logrado
Equipo de gestión: Director Ejecutivo o Gerente, Coordinador(a), entre otros constituido (seleccionado y contratado).	Logrado
Procesos de Empaquetamiento y Transferencia establecidos.	Pendiente
Modelo de Ingresos establecido y operativo que incluye descripción de servicios avanzados, tarificación y contar con facturas timbradas por el Servicio de Impuestos Internos para cobro de los mismos.	Logrado
Directorio operativo.	Logrado
Sofisticar oferta: servicios no contemplados originalmente	Logrado
Nuevos nichos de mercado, regulaciones, aspectos internacionales u otros aspectos propios del crecimiento operacional.	Logrado

Indicadores de Difusión (Cualitativos)	Periodo Actual (Logrado/Pendiente)
Lanzamiento de CEI-Chile.	Logrado
Sitio web del CEI-Chile actualizado (en 1 idioma en la 1ª etapa y en 2 idiomas en la 2ª etapa)	Logrado

Tipo de Indicadores de Difusión (Cuantitativos)	Compromiso Inicial	Periodo Actual	Total Acumulado	% de Avance con Respecto al Compromiso Inicial
Nº de Publicaciones de Difusión del CEI (al menos 1 al año en la 1ª etapa, 2 al año en la 2ª etapa y 3 al año en la 3ª etapa)	3	17	25	833%
Nº de actividades de promoción realizadas (aumentar en cada etapa al menos un 20% con respecto a la etapa anterior)	6	3	29	483%

Indicadores de Líneas de I+D	Compromiso Inicial	Periodo Actual	Total Acumulado	% de Avance con Respecto al Compromiso Inicial
<b>Electricidad Solar</b>				
% de avance de las Líneas de I+D en marcha, (con un % relevante de cumplimiento de su programación del periodo) Año 2 70% del avance programado primera etapa	100%	92%	95%	100%
N° de investigadores total contratados	20	4	74 (26 a la fecha)	370%
N° de investigadores PhD contratados	---	0	16 (9 a la fecha)	
N° de investigadores magister contratados	---	3	24 (6 a la fecha)	
N° de investigadores alumnos contratados	---	0+3	19 (6 a la fecha)	
N° de Publicaciones de I+D Ej., ISI (al menos 1 al año por cada 5 investigadores en la 1ª etapa, por cada 3 investigadores en la 2ª etapa y por cada 2 investigadores en la 3ª etapa).	5	9 Papers 5 Ponencias Orales	16 15*	320%
N° de Patentes en proceso (al menos 1 por línea, al final del periodo, a partir de la 2ª etapa)	---	---	---	---
<b>Calor Solar</b>				
% de avance de las Líneas de I+D en marcha, (con un % relevante de cumplimiento de su programación del periodo) Año 2 70% del avance programado primera etapa	100%	100%	100%	100%
N° de investigadores total contratados	15	2+0	27 (12 a la fecha)	180%
N° de investigadores PhD contratados	---		10 (3 a la fecha)	
N° de investigadores magister contratados	---		6 (4 a la fecha)	

N° de investigadores alumnos contratados	---	2	8 (2 a la fecha)	
N° de Publicaciones de I+D Ej., ISI (al menos 1 al año por cada 5 investigadores en la 1ª etapa, por cada 3 investigadores en la 2ª etapa y por cada 2 investigadores en la 3ª etapa).	4	3 ponencias	2 16*	50%
N° de Patentes en proceso (al menos 1 por línea, al final del periodo, a partir de la 2ª etapa)	---	---	---	---
<b>Tratamiento de Aguas</b>				
% de avance de las Líneas de I+D en marcha, (con un % relevante de cumplimiento de su programación del periodo) Año 2 70% del avance programado primera etapa	100%	94%	94%	94%
N° de investigadores total contratados	11	0+1	13 (4 a la fecha)	118%
N° de investigadores PhD contratados	---	0+1 nuevos	6 (2 a la fecha)	
N° de investigadores magister contratados	---	0	3 (2 a la fecha)	
N° de investigadores alumnos contratados	---	0	1	
N° de Publicaciones de I+D Ej., ISI (al menos 1 al año por cada 5 investigadores en la 1ª etapa, por cada 3 investigadores en la 2ª etapa y por cada 2 investigadores en la 3ª etapa).	2	4	9 4*	450%
N° de Patentes en proceso (al menos 1 por línea, al final del periodo, a partir de la 2ª etapa)	---	---	---	---

<b>Indicadores de Instalación (Cualitativos)</b>	<b>Periodo Actual (% de cumplimiento respecto de lo planificado)</b>
--	--

Programa de Transferencia: capacitación, tecnologías ya existentes y participación del personal del CEI.	100%
--	------

Indicadores de Instalación	Compromiso Inicial	Periodo Actual	Total Acumulado	% de Avance con Respecto al Compromiso Inicial
Nuevas Alianzas con entidades de I+D locales (Al menos 1 al final de la 1ª Etapa, 2 al final de la 2ª Etapa y 2 al final del proyecto)	2	1	5	250
Nuevas Alianzas con entidades de I+D Internacional (Al menos 1 al final de la 2ª etapa y 1 al final del proyecto)	1	1	3	300%
Nuevos Convenios con empresas (Al menos 1 al final de la 1ª Etapa, 2 al final de la 2ª Etapa y 4 al final del proyecto)	1	1	1	100%
Ingresos por prestación de servicios avanzados del CEI-Chile. (Ej.: Servicios tales como transferencia de tecnologías, venta o licenciamiento, creación de spin-off, etc., en la etapa 2 debe haber al menos un 40% de aumento con respecto de la etapa 1 y en la etapa final un 60% de aumento con respecto a la etapa 2)	200.000US\$ <sup>[1]</sup>	104.831 US\$ <sup>[2]</sup>	236.948 US\$ <sup>[3]</sup>	>100%

<sup>[1]</sup> Corresponde al valor dado en el formulario de postulación, en la página 194, contract with industry.

<sup>[2]</sup> En este punto se consideró facturación por contratos de servicios con la industria en el periodo 14-11-2017 hasta 12-02-2018, por CLP\$ 58.326.955 Tasa de Cambio CLP \$ 603.4 por \$US, fecha 12.02.2018, publicada por el Banco Central de Chile

<sup>[3]</sup> Total facturado desde inicio hasta 12.02.2018.

Monto en proyectos con financiamiento público nacional (En la etapa 2 debe haber al menos un 30% de aumento con respecto de la etapa 1 y en la etapa final un 40% de aumento con respecto a la etapa 2)	\$1.500.000 US\$ <sup>[4]</sup>	USD\$421.318 durante 2017	USD\$1.033.744 <sup>[5]</sup>	
Monto en proyectos con financiamiento público internacional (En la etapa 2 debe haber al menos un 20% de aumento con respecto de la etapa 1 y en la etapa final un 20% de aumento con respecto a la etapa 2)	NA	NA	NA	

### 2.2.2 Avance en Indicadores de Impacto

Indicadores de Extensión	Compromiso Inicial	Periodo Actual	Total Acumulado	% de Avance con Respecto al Compromiso Inicial
N° de Capacitaciones realizadas en temas de transferencia tecnológica por el CEI internacional a Personal Nacional.	3	2	9	300%
N° de Transferencias de tecnologías ya existentes realizadas por el CEI Internacional.	1	1	4	400%
N° de Personas del Centro de Excelencia Internacional que han participado en el Proyecto.	22	22	22	100%
N° de Nuevas alianzas con entidades de I+D locales	2	1	5	250%
N° de Nuevas alianzas con entidades de I+D internacionales	1	0	2	200%

<sup>[4]</sup> Corresponde al valor dado en el formulario de postulación, página 194, en el ítem Public R&D Funds, compromiso al año 2 de funcionamiento.

<sup>[5]</sup> Corresponde al valor acumulado de los contratos publicos. Tasa de cambio 601,69 US\$ fecha 17.01.2017, publicada por el Banco Central de Chile



Indicadores de Empleo	Compromiso Inicial	Periodo Actual	Total Acumulado	% de Avance con Respecto al Compromiso Inicial
Nº de PhD como nuevo personal contratado (Nacional/Extranjero)	9	1	35 (16 a la fecha)	388%
Nº de investigador como nuevo personal contratado (Nacional/Extranjero)	8	6	114 (46 a la fecha)	>100%
Nº de magister como nuevo personal contratado (Nacional/Extranjero)	6	3	40 (17 a la fecha)	>100%
Nº de profesionales formados y capacitados en el país de origen del Centro de Excelencia Internacional.	4	2	9	225%
Nº de profesionales capacitados (nacionales e internacionales) por el CEI-Chile.	35	3	27	78%

Indicadores de Ingreso	Compromiso Inicial USD	Periodo Actual	Total Acumulado USD	% de Avance con Respecto al Compromiso Inicial
Ingresos por contratos con la industria	\$300.000	USD\$116.145*	USD\$202.762	68%
Ingresos por prestación de servicios avanzados del Centro en Chile.	\$200.000	USD\$105.129*	USD\$237.621	118%
Apalancamiento con fondos públicos nacionales.	\$1.500.000	USD\$421.318	USD\$1.033.744	69%
Apalancamiento con fondos internacionales.	\$200.000	USD\$0	USD\$0	%
Ingresos en convenio con entidades internacionales	0	USD\$17.225	USD\$21.185	%
Ingresos por licenciamiento.	0	0	0	0
Ingresos de Spin off generados	0	0	0	0

\*Total 2017

Indicadores de la Industria	Compromiso Inicial	Periodo Actual	Total Acumulado	% de Avance con Respecto
-----------------------------	--------------------	----------------	-----------------	--------------------------

				al Compromiso Inicial
N° de Negocios generados por la Industria de servicios tecnológicos basados en transferencia tecnológica	2	0	0	0
Cantidad y tipo de tecnologías transferidas a la Industria	1	0	0	0
Impacto en el PIB de la industria	0	0	0	0

### 2.2.3 Otros Indicadores Comprometidos

Indicadores	Compromiso Inicial	Periodo Actual	Total Acumulado	% de Avance con Respecto al Compromiso Inicial
Números de nacionalidades	---	5	7	---
Número de líneas de I+D	---	5	5	---
Número de regiones donde se realizan proyectos	---	5	5	---

## 2.3 Presupuesto

### 2.3.1 Observaciones al Gasto (CORFO Chile) y Aportes (CEI, Beneficiaria, Coejecutores y Asociados):

Costo Total del Proyecto (UTM/US\$)	Costo Total para la Etapa Actual (UTM/US\$)	Monto Desembolsado a la Fecha (UTM/US\$)	Monto Desembolsado a la Fecha en Pesos
404.298	152.283	50.000	2.208.600.000

Monto Total CORFO Aprobado para el Proyecto (UTM/US\$)	161.254	Monto Total CORFO Aprobado para la Etapa Actual (UTM/US\$)	75.588

Monto CORFO Gastado en el periodo (\$)*	Monto CORFO Gastado Acumulado (\$)*	Monto CORFO Presupuestado a la fecha (\$)	% de Gasto con respecto a lo presupuestado	% de Gasto con respecto al Desembolso	% de Gasto con respecto al gasto Total de la etapa
282.236.238	1.329.518.409	2.120.646.910	62,69%	60,19%	38,16%

**Observaciones a los Gastos Realizados con Subsidio CORFO** Los gastos se han realizado acorde con lo presupuestado. Parte de los dineros recibidos financiaron actividades realizadas durante el 2014 del centro de excelencia.

A la fecha, se entregó la suma de CLP\$330.191.356 a la Pontificia Universidad Católica para adelantar la investigación como coejecutor del proyecto, correspondiente al 41% del dinero asignado como coejecutor.

*\* Al final de cada etapa se deberá entregar el monto en pesos y en la moneda que rige el convenio (UTM/US\$) si esta difiere del peso.*

Monto Total de Cofinanciamiento para el Proyecto (UTM/US\$)	Monto Total de Cofinanciamiento para la Etapa Actual (UTM/US\$)	Monto Total de Cofinanciamiento en Aportes Pecuniarios para la Etapa Actual (UTM/US\$)	Monto Total de Cofinanciamiento en Aportes No Pecuniarios para la Etapa Actual (UTM/US\$)
243.044	76.695	37.794	38.901

Aportes Total en el periodo (\$)¹	Aportes Acumulados (\$)*	Aporte Presupuestado a la fecha (\$)*	% de Aporte con respecto al presupuestado (\$)*	% de Aporte con respecto al Cofinanciamiento Total de la etapa (\$)*
272.683.857	272.683.857	958.687.500	28,4%	8%

Total de aportes Pecuniarios en el periodo (\$)*	Aportes Pecuniarios Acumulados (\$)*	Total de aportes No Pecuniarios en el periodo (\$)*	Aportes No Pecuniarios Acumulados (\$)*
21.383.857	21.383.857	251.300.000	251.300.000

<sup>1</sup>Los aportes realizados por Fraunhofer ISE se registran en el informe independiente de auditoría desarrollado por la firma Morison Riedlinger AG, disponible alrededor de mayo del año en curso.

<p><b>Observaciones a los aportes Realizados al proyecto:</b></p> <p><i>* Al final de cada etapa se deberá entregar el monto en pesos y en la moneda que rige el convenio (UTM/US\$) si esta difiere del peso.</i></p>
--

## 2.4 Plan de Acción Para el Próximo Periodo

En cuanto acciones para el próximo periodo, el FCR-CSET busca iniciar su segunda fase, con las actividades propuestas en el informe de continuidad presentado a CORFO el 12.11.2017. De igual manera, los proyectos actualmente en ejecución siguen su curso y acciones y actividades para el próximo periodo son las que se presentan a continuación:

### 2.4.1 Identificación de acciones correctivas o actividades para el próximo periodo

Línea	Acción Correctiva/Actividades
<b>Corporativo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>La propuesta para la fase dos del proyecto fue aprobada por CORFO y Ministerio de Energía, por lo tanto, en el corto plazo iniciarán las actividades correspondientes al cierre de la primera fase e inicio de acciones y desarrollo de la segunda fase.</li> </ul>
<b>Electricidad solar</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Continuar con las experimentaciones en los laboratorios instalados en PSDA, UTFSM y Diego Almagro.</li> <li>Finalizar etapa I proyecto SkyCameras.</li> <li>Continuidad a los proyectos con la empresa privada en mediciones del recurso solar.</li> </ul>
<b>Calor Solar</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Continuar con el desarrollando la plataforma web para mostrar los resultados de los diferentes proyectos desarrollados por el área. Como pasos futuros se espera comprar un dominio para alojar la plataforma web definitiva en conjunto con realizar mejoras constantes en términos de seguridad y visualización de los datos.</li> <li>Para la siguiente fase se espera que los sistemas de monitoreo implementados en los diferentes proyectos desarrollados por el área se comuniquen de forma on-line con esta plataforma web y así los datos medidos estén accesibles al instante dentro de la plataforma.</li> </ul>
<b>Tratamiento solar de aguas</b>	<p>De acuerdo con la propuesta presentada a CORFO para el desarrollo de la fase dos del proyecto, la cual se encuentra en evaluación, la línea de Tratamiento de Agua presentó una propuesta de reestructuración, considerando las siguientes líneas investigativas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>El tratamiento de aguas y desalinización por medio de destilación por membrana utilizando calor solar o calor de rechazo de un proceso determinado, es un área que debe</li> </ul>

	<p>continuar su desarrollo a pesar de ser una tecnología aún en desarrollo, y las capacidades de los equipos y pilotos probados es aún en menor escala, por lo cual se presenta como una tecnología de alto potencial pero no aplicable a corto plazo.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tecnologías como fotocátalisis y sistemas de destilación a pequeña escala tienen un gran potencial debido a los altos índices de radiación presentes en el país, pero se requiere realizar pruebas piloto para determinar la factibilidad de su uso para el tratamiento de aguas residuales industriales, o para tratamiento de aguas salobres en lugares apartados y con escasos recursos hídricos.</li> </ul>
<p><b>Desarrollo de Negocios</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• De acuerdo con la propuesta de continuidad para la fase dos, la línea de Desarrollo de Negocios ingresará a ser parte de la gerencia Corporativa de FCR-CSET.</li> </ul>

**2.4.2 Modificaciones Presupuestarias que deberían realizarse:**

- En el corto plazo no se contemplan modificaciones presupuestarias, diferentes a las presentadas en el informe de continuidad. A la fecha de presentación de este informe se hará la rendición financiera correspondiente.
- Por otro lado, sobre los aportes presentados por Fraunhofer ISE, se espera el informe de auditoría alrededor del mes de mayo de 2018.

**2.4.3 Modificaciones al Plan de Trabajo:**

- Modificaciones al plan de trabajo se presentaron en detalle en el informe de continuidad presentado a CORFO el 12.11.2017.

**2.4.4 Cambio en los RR.HH.:**

- Prof. Werner Platzer regresa a Alemania al final de la fase uno del proyecto 13CEI2-21803 y el Prof. Dr. Frank Dinter, asumirá como director del mismo.
- El investigador Alan Pino de la RL1 viajó a España para adelantar estudios de doctorado y por esta razón, renunció a su cargo en FCR-CSET. Por su parte, el ingeniero Felix Carrasco, también renunció al CSET por motivos profesionales.
- La línea de RL2-Calor Solar, contrató a los estudiantes en práctica Camila Correa y a Pablo Castillo.
- En la UC da cuenta de la contratación de 4 nuevos investigadores para el final de la fase uno.

#### 2.4.5 Inversiones para el próximo periodo:

- Inversiones con recursos basales contempladas para el próximo periodo se enmarcan en la propuesta de continuidad. Al cierre de la etapa uno no se tienen inversiones contempladas debido a las condiciones para la rendición de recursos al cierre de la fase uno.

### 3 Informe de Gestión

#### 3.1 Objetivos del Proyecto

##### 3.1.1 Objetivo(s) General(es)

Con base en el objetivo general del Centro, se describen los avances logrados en el periodo entre noviembre 12 de 2017 y febrero 12 de 2018:

- ❖ **Realizar investigación y desarrollo con el objetivo de fomentar un suministro de energía sostenible, económico, seguro y socialmente equilibrado en Chile para así apoyar el desarrollo de una economía solar en Chile**

En particular sobre este objetivo se presentan varios avances, lo cuales son muy satisfactorios al ser enmarcados dentro de la realidad chilena y son un paso adelante hacia fomentar el suministro de energía sostenible. En particular, destaca:

- Instalación de las tres plantas fotovoltaicas pilotos en el proyecto AgroPV, transferencia de conocimiento del proyecto a la comunidad, con la realización de un seminario de importante asistencia el día 23 de noviembre, con la visita de expertos alemanes entre los días 20 y 30 de noviembre, y, además
- El día 29 de diciembre se obtuvo la aprobación de SEC (Superintendencia de Electricidad y Combustibles) para la conexión de las tres plantas a las redes de distribución respectivas, bajo modalidad Net Metering (Ley 20571).

- ❖ **Proveer consultoría para la industria y organismos públicos,**

- En el marco del proyecto público de Plataforma de Innovación Abierta (PIA) de Fundación Chile, la línea de Calor Solar viene apoyando a la plataforma, en su interés por conectar a los proveedores de soluciones solares con la industria demandante, ofreciendo desde el punto de vista técnico la incorporación de tecnología solar térmica al sector agro e identificando las oportunidades de integración. La participación de los ingenieros de calor solar tiene como objeto identificar aquellas industrias que tengan necesidad de calor industrial.
- Apoyo a la empresa privada (industria de alimentos) sobre el análisis de posibilidades para integrar a futuro sistemas solares fotovoltaicos. Estudio de las proyecciones de tarifa eléctrica y, por otro lado, el consumo de energía térmica en algunos procesos industriales. Para dicho proyecto, se

apoya a la empresa privada en la toma de decisiones energéticas futuras desde un punto de vista global, que incluya las visiones eléctrica y térmica.

- Optimizar el consumo de energía térmica para los procesos de la empresa de concentrados de uva (empresa privada) A través del monitoreo de los consumos térmicos de los procesos más relevantes, se realizaron simulaciones computacionales para optimizar la integración del calor captado por su sistema solar de concentración en los procesos de la empresa considerando integración a nivel de suministro (antes de la caldera) como también integración directa a los procesos, específicamente al proceso de pasteurización. Finalmente todas las soluciones generadas se analizaron desde un punto de vista técnico y económico para categorizarlas según su rentabilidad y así generar un portafolio de oportunidades para la empresa.

❖ **Desarrollar en conjunto con las empresas soluciones tecnológicas innovadoras orientadas a implementar soluciones de energía solar de gran escala para el sector industrial, comercial y residencial en Chile:**

- En Colaboración con ENEL y Minera Collahuasi se presentó propuesta a programa Prototipos para Innovación, para desarrollar prueba de piloto de tecnología Brine Mine, que utiliza sistema de destilación por membrana para extraer minerales de valor de fluidos geotérmicos. La propuesta será reformulada en el corto plazo.
- Colaboración con Crystal Lagoons para el desarrollo de un sistema piloto de Membrana de Destilación para purificar agua, utilizando calor residual de sistemas de enfriamiento de plantas térmicas de potencia.

❖ **Desarrollar soluciones técnicas para la utilización económica de fuentes de energía renovables y para la mejora de la eficiencia energética, y en conjunto con sus sistemas y la tecnología orientada a la innovación, CSET quiere apoyar la competitividad de sus clientes en la industria, así como la aceptación de sistemas de energía sostenibles en la sociedad.**

- Sobre desarrollos tecnológicos, se envió una propuesta para el Programa Tecnológico Estratégico “Adaptación de la Operación de Equipos Móviles de Diesel a Hidrogeno Mediante Celdas de Combustibles”. Para esta propuesta se estaría conformando un consorcio entre FCR, Collahuasi, UTFSM, ACHEE, entre otros.
- FCR-CSET ha trabajado en el desarrollo de una herramienta que permite identificar los mayores consumos energéticos industriales según sus rubros y región de manera visual y clara. Esta herramienta de uso interno se basa en la encuesta ENIA del año 2014 y se ha demostrado su valía en el proyecto de Bienes Públicos de Plataforma de Innovación Abierta (PIA) de Fundación Chile, y permite identificar aquellas industrias en las que se debe enfocar las soluciones de energías renovables y/o de eficiencia energética.
- Así mismo, en el proyecto privado JUCONCENTRA ha sido co-financiado por la CAMCHAL a través del proyecto SMART ENERGY CONCEPTS, que tiene como objetivo el fomento de la eficiencia energética en el sector agroalimentario para reducir las emisiones de CO2. En este se ha trabajado en la identificación de alternativas para optimizar la integración de la energía solar en el proceso industrial desde un punto de vista de la eficiencia energética del proceso. Los resultados de este

proyecto son relevantes desde el punto de vista de los objetivos del CSET dado que el sistema solar instalado es uno de los pocos ejemplos de sistemas solares de concentración en Chile.

### 3.1.2 Objetivos Específicos

#### **Objetivo Específico N°1: Investigar y abordar los desafíos científicos, tecnológicos, económicos y de mercado para las tecnologías de energía solar en Chile.**

- Estudios con los Informes de las Estrategias Energéticas Locales de Diego de Almagro y Chañaral. Los estudios se encuentran disponibles para consulta en la página web de Fraunhofer Chile (<http://www.fraunhofer.cl/es/cset/publicaciones/reports.html>).
- Estudios en conjunto con la Línea Solar Térmica, para el análisis y estudio de oportunidades de aplicación de energía solar en una industria de alimentos y en una faena minera de gran escala.
- En cuanto a los desafíos a los que se enfrentan los sistemas solares en Chile se ponen en relevancia varios aspectos:
  - Efecto del soiling tanto en PV como en CSP. En ambos casos se está trabajando en CSET.
  - Corrosión: trabajo de UC en corrosión
  - Para el CSP, la atenuación atmosférica es un aspecto muy relevante en el desarrollo de la tecnología, y Chile podría tener ventajas respecto a otros lugares en los que la CSP se está desarrollando. En este respecto CSET postuló como co-ejecutor a un bien público cuyo objetivo es estimar los valores de atenuación atmosférica en el norte de Chile
- Agua: la falta de agua es especialmente relevante en el norte, ya la aplicación de sistemas de desalación solar podrían ser una solución a estos problemas. FCR-CSET está trabajando activamente en la postulación de proyectos para construir un prototipo de MD.

#### **Objetivo Específico N°2: Desarrollar tecnologías que se adapten a las condiciones particulares de Chile.**

- La línea de Tratamiento de Aguas en el proyecto Brine Mine, concepto impulsado por Fraunhofer, definió un sistema que utiliza aguas geotermales para producir agua purificada y recuperar minerales valiosos, por medio de un sistema de destilación por membrana, complementado con osmosis inversa y un proceso de cristalización. Esta tecnología sería implementada en el norte de Chile.
- Se desarrollaron las instancias de entrega del producto derivado del desarrollo de un software de optimización de gestión óptima de soiling con el principal operador de plantas fotovoltaicas de gran escala a nivel nacional.
- Cofinanciamiento CORFO (Voucher de Innovación) para validación de uso de cámaras de cielo fabricadas en Chile para la realización de NowCasting en plantas solares en general. Proyecto adjudicado a ObsTech, (spin-off UC Astronomía), en el cual CSET es subcontrato tecnológico.

#### **Objetivo Específico N°3: Implementar certificaciones y otras métricas para apoyar la alta calidad de las instalaciones solares.**



- Durante el último periodo se conformó definitivamente el comité técnico 82 “Solar Photovoltaic Energy Systems” perteneciente a la IEC (International Electrotechnical Commission) en el marco de la representación de Chile. Durante el periodo reportado se comenzó la puesta en marcha del comité en sí mismo, en donde ya fueron evaluados dos estándares y se planificó el trabajo para el año 2018.
- Inicio de acuerdo de colaboración con SERC para la investigación en Chile sobre la temática principal en los Centros.

**Objetivo Específico N°4:** Establecer vínculos entre la investigación académica y el emprendimiento industrial.

- Con el fin de estrechar vínculos entre la investigación y el emprendimiento industrial, se llevó a cabo el Seminario Solar sobre “Usos del Calor Solar en la Industria Alimentaria” realizado el viernes 24 noviembre, 2017, a las 9:30 horas, en la Sala C003 en el Edificio Construcción Civil del Campus San Joaquín UC. Esto con el fin de mostrar a la industria opciones de inversión en energía solar para sus procesos industriales.
- El Software de Soiling permitirá a los operadores de plantas solares fotovoltaicas de cualquier escala, optimizar la gestión de limpieza, maximizando el rendimiento financiero del activo, cuyo costo de limpieza representa un costo de oportunidad relevante, al dejar de vender energía al no operar en su punto óptimo, (balance costo-beneficio).
- Las Cámaras de Cielo permiten al operador de planta PV o CSP contar con información de la disponibilidad del recurso solar en un horizonte de 15 a 20 minutos, permitiendo en el caso de las PV prever periodos de variabilidad de producción (estabilidad de red y balance generación-demanda), como también gestionar la energía térmica en una planta CSP. Estas cámaras serían idóneas para su aplicación en plantas fotovoltaicas que quieran prestar servicios de regulación de frecuencia primaria y secundaria, al sincerar la disponibilidad de campo solar en las ventanas de tiempo que estos servicios requieren.

### 3.2 Indicadores de resultados y de Impacto

#### 3.2.1 Indicadores de Resultados y Metas

##### 3.2.1.1 Indicadores Estructurales y de Operación:

Cumplimiento a cabalidad con los indicadores estructurales y de operación durante la primera fase del proyecto.

##### 3.2.1.2 Indicadores de Difusión Cualitativos:

El Centro de Tecnologías para Energía Solar fue inaugurado al público el 28 de mayo de 2015, tal como fue presentado en informes anteriores.

En cuando a indicadores de difusión cualitativos el FCR-CSET cuenta con una página web en funcionamiento, actualizada permanentemente y en la cual hace promoción de las próximas actividades a realizar y a su vez, publica las notas de prensa relevantes al Centro. Para consultar la página visitar <http://www.fraunhofer.cl/es/cset.html>

##### 3.2.1.3 Indicadores de Instalación Cualitativos:

Como instancias de difusión de las actividades de FCR-CSET se consideran los informes que contienen los resultados de los proyectos y son de consulta pública, dado que muestran al público la labor de FCR-CSET, siendo así instancias de difusión. Bajo los mismos principios se incluyen los informes preparados por los colaboradores de la UC, bajo su rol como coejecutor del proyecto.

Al cierre del presente informe se tienen 20 informes de consulta pública, 11 de los cuales corresponden a los proyectos desarrollados por UC a partir de abril de 2017. Los informes de proyectos del CSET se encuentran publicados en la página web <http://www.fraunhofer.cl/es/cset/publicaciones/reports.html> y se espera hacer lo mismo con los informes preparados por UC, en la ubicación de la UC que ellos consideren idónea. Una lista completa de los informes se puede consultar en el Anexo N.8- Publicaciones Difusión.

Adicionalmente, durante el periodo de presentación del reporte se llevaron a cabo dos instancias de difusión del FCR-CSET y un seminario interno organizado por el coejecutor UC, los seminarios son:

No	Seminario	Lugar, Fecha	Descripción
1	Seminario Solar	Sala C003, Edificio Construcción Civil Campus San Joaquín UC Viernes 24 Noviembre, 2017 9:30 hrs	Usos de Calor Solar en la Industria Alimentaria
2	Resultado proyectos AgroPV	Hotel Plaza el Bosque Ebro	Presentación resultados proyecto AgroPV

		23 de noviembre, 2017	
3	Presentaciones resultados proyectos FCR-CSET-UC	Universidad Católica, sede San Joaquín 12.12.2017	Presentaciones de investigadores sobre resultados proyectos bajo su responsabilidad.

Mayor información y detalles sobre los Seminarios Solares organizados por FCR-CSET, se encuentra en el Anexo N.11-Seminarios Difusión.

#### Medios de Comunicación Digitales:

No.	Título de la Nota de Prensa	Dirección / Link
1	Agrophotovoltaics-harvesting-the-sun-for-power-and-produce	<a href="http://blog.innovation4e.de/en/2017/12/01/agrophotovoltaics-harvesting-the-sun-for-power-and-produce/">http://blog.innovation4e.de/en/2017/12/01/agrophotovoltaics-harvesting-the-sun-for-power-and-produce/</a>
2	Energía-solar-en-el-agro-una-solución-real	<a href="http://terramarket.cl/detalle/energia-solar-en-el-agro-una-solucion-real.html">http://terramarket.cl/detalle/energia-solar-en-el-agro-una-solucion-real.html</a>
3	Gobierno-regional-promueve-la-energia-solar-una-agricultura-sustentable	<a href="https://www.gobiernosantiago.cl/gobierno-regional-promueve-la-energia-solar-una-agricultura-sustentable">https://www.gobiernosantiago.cl/gobierno-regional-promueve-la-energia-solar-una-agricultura-sustentable</a>
4	La energía solar y su aporte a la agricultura sustentable	<a href="http://elagro.radioagricultura.cl/2017/11/28/energia-solar-agricultura-sustentable/">http://elagro.radioagricultura.cl/2017/11/28/energia-solar-agricultura-sustentable/</a>
5	Beneficios-de-combinar-energía-solar-y-agricultura	<a href="http://www.energia.gob.cl/tema-de-interes/beneficios-de-combinar-energia">http://www.energia.gob.cl/tema-de-interes/beneficios-de-combinar-energia</a>
6	Agro-pv-energía-solar-una-agricultura-sustentable	<a href="http://www.redbionova.com/eventos/agro-pv-energia-solar-una-agricultura-sustentable/">http://www.redbionova.com/eventos/agro-pv-energia-solar-una-agricultura-sustentable/</a>
7	Reducir-a-la-mitad-costo-de-la-energía-solar	<a href="https://www.colbun.cl/inedito-consorcio-publico-privado-impulsara-id-para-reducir-a-la-mitad-costo-de-la-energia-solar/">https://www.colbun.cl/inedito-consorcio-publico-privado-impulsara-id-para-reducir-a-la-mitad-costo-de-la-energia-solar/</a>
8	Energías-renovables-chile-mira-hacia-el-sol	<a href="http://www.clubcontacto.cl/articulos-energias-renovables-chile-mira-hacia-el-sol.php">http://www.clubcontacto.cl/articulos-energias-renovables-chile-mira-hacia-el-sol.php</a>
9	Programa-de-innovación-abierta-solar	<a href="http://www.elmostrador.cl/agenda-pais/2017/11/22/programa-de-innovacion-abierta-solar-y-onu-buscan-ampliar-el-">http://www.elmostrador.cl/agenda-pais/2017/11/22/programa-de-innovacion-abierta-solar-y-onu-buscan-ampliar-el-</a>

		<a href="#">financiamiento-de-proyectos-de-energias-limpias-en-chile/</a>
10	Paneles fotovoltaicos y cultivos de hortalizas pueden convivir en el mismo espacio de suelo	<a href="http://www.economiaynegocios.cl/noticias/noticias.asp?id=424940">http://www.economiaynegocios.cl/noticias/noticias.asp?id=424940</a>
11	Uso de tecnologías buscan mejorar la productividad de la agricultura regional	<a href="https://www.corfo.cl/sites/Satellite;jsessionid=TsYTpxW1djpGpey1OGper62Twe35vVlr5WhJit3XqtfX27C0Hlo!-1853597974!NONE?c=C_NoticiaRegional&amp;cid=1476720966221&amp;d=Touch&amp;pageame=CorfoPortalPublico%2FC_NoticiaRegional%2FcorfoDetalleNoticiaRegionalWeb">https://www.corfo.cl/sites/Satellite;jsessionid=TsYTpxW1djpGpey1OGper62Twe35vVlr5WhJit3XqtfX27C0Hlo!-1853597974!NONE?c=C_NoticiaRegional&amp;cid=1476720966221&amp;d=Touch&amp;pageame=CorfoPortalPublico%2FC_NoticiaRegional%2FcorfoDetalleNoticiaRegionalWeb</a>
12	Workshop-financiamiento-de-energía-solar-distribuida-en-chile	<a href="http://www.unepfi.org/events/workshop-financiamiento-de-energia-solar-distribuida-en-chile-una-gran-oportunidad-para-la-banca-pyme-nacional/">http://www.unepfi.org/events/workshop-financiamiento-de-energia-solar-distribuida-en-chile-una-gran-oportunidad-para-la-banca-pyme-nacional/</a>
13	Como-aprovechar-la-energia-solar-para-una-agricultura-sustentable	<a href="https://aricaonline.cl/como-aprovechar-la-energia-solar-para-una-agricultura-sustentable/">https://aricaonline.cl/como-aprovechar-la-energia-solar-para-una-agricultura-sustentable/</a>
14	Agricultores-de-la-región-metropolitana	<a href="http://www.portaldelagro.cl/2017/11/30/agricultores-de-la-region-metropolitana-combinan-uso-de-tierras-para-produccion-horticola-y-generacion-de-energia-solar/">http://www.portaldelagro.cl/2017/11/30/agricultores-de-la-region-metropolitana-combinan-uso-de-tierras-para-produccion-horticola-y-generacion-de-energia-solar/</a>
15	Centro-innovación-uc-abre-puertas	<a href="http://noticias.universia.cl/educacion/noticia/2017/11/17/1156548/centro-innovacion-uc-abre-puertas-dar-conocer-programas-innovacion-emprendimiento-asi-quehacer-habitantes.html">http://noticias.universia.cl/educacion/noticia/2017/11/17/1156548/centro-innovacion-uc-abre-puertas-dar-conocer-programas-innovacion-emprendimiento-asi-quehacer-habitantes.html</a>
16	Energía-solar-en-el-agro-una-solución-real	<a href="http://www.mundoagro.cl/energia-solar-en-el-agro-una-solucion-real/">http://www.mundoagro.cl/energia-solar-en-el-agro-una-solucion-real/</a>
17	Prueban los beneficios de doble uso del suelo: hortalizas y energía	<a href="http://www.economiaynegocios.cl/noticias/noticias.asp?id=420052">http://www.economiaynegocios.cl/noticias/noticias.asp?id=420052</a>
18	Gobierno Regional promueve la energía solar para una agricultura sustentable	<a href="https://www.gobiernosantiago.cl/gobierno-regional-promueve-la-energia-solar-una-agricultura-sustentable">https://www.gobiernosantiago.cl/gobierno-regional-promueve-la-energia-solar-una-agricultura-sustentable</a>
<b>Video</b>		

1	FIC AGRO PV Diseño y Comprobación Concepto Agro Fotovoltaico	<a href="https://www.gobiernosantiago.cl/gobierno-regional-promueve-la-energia-solar-una-agricultura-sustentable">https://www.gobiernosantiago.cl/gobierno-regional-promueve-la-energia-solar-una-agricultura-sustentable</a>
<b>Webinar</b>		
1	Sin información	
<b>Prensa Escrita</b>		
<b>No.</b>	<b>Título de la Nota de Prensa</b>	<b>Dirección / Link</b>
1	Sin información	

Muestras impresas de estas reseñas en prensa se pueden consultar en el Anexo N.13-Prensa Digital e Impresa.

### 3.2.1.4 Indicadores de Línea de I+D:

En cuanto a los investigadores y colaboradores contratados se reporta lo siguiente:

- Dos estudiantes en práctica para la línea de Calor Solar.
- 4 investigadores por parte del Coejecutor UC.

Información detallada sobre Recursos Humanos y fechas de contratos se encuentra en el Anexo N.7-Recursos Humanos-FCR-CSET-UC.

En cuanto al número de publicaciones, en la tabla debajo se presentan las nuevas publicaciones científicas reportadas y el detalle histórico se encuentre en el Anexo N.9-Publicaciones Científicas - Conferencias. Si bien algunas fueron publicadas fuera del período del presente informe, se incluyen por no haberse informado antes.

Publicaciones científicas (ISI)	Factor de Impacto
RP Odeh, D Watts, Y Flores, <u>Planning in a changing environment: Applications of portfolio optimisation to deal with risk in the electricity sector</u> , Renewable and Sustainable Energy Reviews 82, 3008-3823, 2018 <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032117314478">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032117314478</a>	8.050
RP Odeh, D Watts, M Negrete-Pincetic, <u>Portfolio applications in electricity markets review: Private investor and manager perspective trends</u> , Renewable and Sustainable Energy Reviews 81, 192-204, 2018 <a href="http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032117311024">http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032117311024</a>	8.050
I Chaparro, D Watts, E Gil, <u>Modeling marginal CO2 emissions in hydrothermal systems: Efficient carbon signals for renewables</u> , Applied Energy 204, 318-331, 2017 <a href="http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261917308577">http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261917308577</a>	7.182
C Bustos, D Watts, M Ayala, <u>Financial risk reduction in photovoltaic projects through ocean-atmospheric oscillations modeling</u> , Renewable and Sustainable Energy Reviews 74, 548-568, 2017 <a href="http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032116307511">http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032116307511</a>	8.050

Publicaciones científicas (ISI)	Factor de Impacto
C Bustos, D Watts, <u>Novel methodology for microgrids in isolated communities: Electricity cost-coverage trade-off with 3-stage technology mix, dispatch &amp; configuration optimizations</u> , Applied Energy 195, 204-221, 2017 <a href="http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261917301447">http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261917301447</a>	7.182
D Watts, P Durán, Y Flores, <u>How does El Niño Southern Oscillation impact the wind resource in Chile? A techno-economical assessment of the influence of El Niño and La Niña on the wind power</u> , Renewable Energy 103, 128-142, 2017 <a href="http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148116308977">http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148116308977</a>	8.050
D Watts, N Oses, R Pérez, <u>Assessment of wind energy potential in Chile: A project-based regional wind supply function approach</u> , Renewable Energy 96, 738-755, 2016 <a href="http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148116304499">http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148116304499</a>	8.050
J Ortega, D Watts, <u>Operating Reserves And Unit Commitment Considering Variable Renewable Energies: An Academic Review</u> , Reservas Operacionales Y Unit Commitment Considerando Energías Renovables Variables: Una Revisión Académica, IEEE Latin America Transactions 15 (11), Nov 2017, 2108-2119 <a href="http://www.ewh.ieee.org/reg/9/etrans/ieee/issues/vol15/vol15issue11Nov.2017/15TLA11_13Ortega.pdf">http://www.ewh.ieee.org/reg/9/etrans/ieee/issues/vol15/vol15issue11Nov.2017/15TLA11_13Ortega.pdf</a>	0.631
H Ren; J Ortega; D Watts, <u>Review Of Operating Reserves And Day-Ahead Unit Commitment Considering Variable Renewable Energies: International Experience, Revisión De Reservas Operacionales Y Day-Ahead Unit Commitment Considerando Energías Renovables Variables: Experiencia Internacional</u> , IEEE Latin America Transactions 15 (11), Nov 2017, 2126 - 2136 <a href="http://www.ewh.ieee.org/reg/9/etrans/ieee/issues/vol15/vol15issue11Nov.2017/15TLA11_15Ren.pdf">http://www.ewh.ieee.org/reg/9/etrans/ieee/issues/vol15/vol15issue11Nov.2017/15TLA11_15Ren.pdf</a>	0.631
Energy, 2018, 144C, 657-668, <u>Ground heat storage beneath salt-gradient solar ponds under constant heat demand</u> , Amigo, J., Suárez. <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544217321047#!">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544217321047#!</a>	4,520

Ponencia Oral	
A. Valenzuela, D.E. Olivares and M. Negrete-Pincetic. Long Term Power Systems Planning With Operational Flexibility. Karlsruhe Institute of Technology. Karlsruhe, Germany. November 2016.	No aplica
B. Maluenda, M. Negrete-Pincetic, D.E. Olivares, and Á. Lorca. Expansion Planning Under Long-Term Uncertainty for Hydrothermal Systems With Volatile Resources. INFORMS Annual Meeting. Houston, Texas. October 2017.	No aplica
A. Valenzuela, D.E. Olivares and M. Negrete-Pincetic. Long Term Power Systems Planning With Operational Flexibility. Poster. Universidad de Chile. Santiago, Chile. November 2016.	No aplica
E. Véliz, M. Negrete-Pincetic, D.E. Olivares and Á. Lorca. Poster. Modeling of power and ramping reserves with affine policies. Universidad de Chile. Santiago, Chile. November 2016.	No aplica

Nicolás Lobos, M. Negrete-Pincetic, D.E. Olivares and Á. Lorca. Polyhedral approximation of the OPF for the power distribution planning problem. Poster. Universidad de Chile. Santiago, Chile. November 2016.	No aplica
Magdalena Walczak, Fabiola Pineda, Ángel G. Fernández. Congress Thermal Energy Storage and Molten Salt Corrosion (TESCOR)	No aplica
Fabiola Pineda, Magdalena Walczak, Franco Vilchez, Tom Ávila. Congreso Renewable Energy Sources - Research and Business (RESRB) 2017	No aplica
Franco Vilchez, Tom Ávila, Fabiola Pineda, Magdalena Walczak Congreso Chileno de Ingeniería Mecánica (COCIM 2017)	No aplica
XV Jornadas de Mecánica Computacional, Arica, Chile, 6-7 de Octubre, Modelo transiente para la predicción de temperaturas en una poza solar y el suelo bajo ella, Amigo, J., Suárez, F.	No aplica

El respaldo de estas publicaciones se encuentra en el Anexo N.9-Publicaciones Científicas-Conferencias.

### 3.2.1.5 Indicadores de Instalación Cualitativos:

Con respecto a la transferencia de tecnología hacia FCR-CSET, continúan las instancias reportadas anteriormente y se incluye el proyecto Sky Camaras en este nuevo periodo, el cual se desarrolla en conjunto con la Universidad de San Diego, camp Davis, en California, Estados Unidos. En total se tienen las siguientes instancias de transferencia tecnológica:

- Tecnología asociada al proyecto AgroPV
- PV – CPV
- PV – PV Stand
- Sky-Cámaras

### 3.2.1.6 Indicadores de Instalación:

En el marco de nuevas alianzas con entidades de I+D nacionales e internacionales, se presentan iniciativas de trabajo con las siguientes instituciones:

- Firma de memorando de entendimiento con la Universidad Stellenbosch en Ciudad del Cabo, Sudáfrica. En el marco de este memorando, las partes acordaron adelantar actividades de I+D en energías renovables, especialmente en el campo de energía solar. El convenio se hará efectivo a través de intercambio de colaboradores, estudiantes y académicos, realizar proyectos de investigación y publicaciones conjuntos, intercambio de publicaciones, materiales e información, realizar programas y visitas a corto plazo y otras actividades relacionadas con el objetivo del trabajo en conjunto.
- Realización de un trabajo relativo de ciclos Rankine Orgánicos en colaboración con la UNED y el CIEMAT-PSA, de España. Trabajo de colaboración para elaboración de un paper, no cuenta con MoU firmado, dado que fue un trabajo acordado verbalmente como acuerdo de cooperación para el desarrollo del trabajo puntual.

- Durante el transcurso del presente informe se trabajó en una nueva colaboración con Fraunhofer ISE, Centro del Hidrógeno de España y Universidad Técnica Federico Santa María (Nacional) en el estudio de la conformación de un consorcio para presentar propuesta en llamado de H2 para Gran Minería de Corfo.
- FCR-CSET formalizó su participación en el SERC como entidad colaboradora.

Por su parte, los proyectos desarrollados por la UC logran colaboración con las siguientes instituciones internacionales:

- **RAEL Group University of California, Berkeley, USA** (<https://github.com/switch-model/switch>)  
El grupo RAEL tiene la experiencia de usar el modelo en California y proporcionar sus conocimientos a nuestro grupo para el desarrollo de la implementación en Chile.
- **IISM Karlsruhe Institute of Technology, Germany**  
Las tareas del proyecto incluyen la evaluación de nuevos recursos energéticos distribuidos (DER). El grupo de IISM en KIT tiene una amplia experiencia sobre la evaluación económica de DER que ha sido útil en el desarrollo de los proyectos de los profesores Olivares y Negrete.
- **Centro de Investigación Científica del Yucatán A.C. (CICY, Mérida, México)**  
A través del Dr. José Luis Santiago, quien desarrolla investigación en el campo de las membranas con aplicación en la separación de gases y tratamiento de aguas.

FCR-CSET firmó convenio de trabajo en conjunto con la firma Laborelec Chile, cuyo objetivo será aprovechar el conocimiento y capacidad instalada de ambas partes para desarrollar proyectos de mayor envergadura, a nivel nacional como internacional. Aunando esfuerzos las partes consolidan las características necesarias para salir a ofrecer servicios en Latinoamérica. En términos puntuales, gracias al convenio las partes logran realizar actividades más complejas en PV y CSP, asegurar impactos más significativos en el mercado energético y ofrecer un grupo de investigadores altamente experimentado para atender diversas demandas, tanto en servicios como en investigación.

### 3.2.2 Indicadores de Impacto

#### 3.2.2.1 Indicadores de Extensión:

La visita del ingeniero Pedro Horta, quien ofreció una conferencia en el marco del seminario de Calor Solar, y de los ingenieros asociados al proyecto AgroPV, significó para los investigadores del FCR\_CSET la oportunidad de acceder a transferencia de conocimiento y de tecnología por parte de los investigadores de Fraunhofer ISE.

Adicional a las tres instancias de transferencia de tecnología reportadas anteriormente, en el presente informe se reporta el trabajo adelantado con Cámaras de Cielo de la Universidad en San Diego, California. Proyecto que cuenta con la adjudicación de un prototipo de investigación para el desarrollo de las Cámaras localmente.



El ingeniero José Amigo visitó Alemania para asistir a un curso dictado por el equipo de OpenCFD, desarrolladores de Openfoam, cuyo objetivo principal curso era conocer las aplicaciones y funcionalidades básicas de Openfoam (definición de mallas, definición de condiciones de borde, correr en paralelo, post procesamiento y visualización de corridas, algoritmos básicos del método de elementos finitos, etc.).

### 3.2.2.2 Indicadores de Empleo:

Según la información reportada, la UC contrató en el periodo septiembre 2017 a la fecha a 4 colaboradores, de los cuales 1 cuenta con grado PhD, 3 con grado MSC. Por su parte, FCR – CSET contrató a dos estudiantes en práctica para la línea de Calor Solar.

Dado el corto tiempo reportado en el presente informe, no se cuenta con numerosas capacitaciones de personal en el país de origen del CEI. No obstante lo anterior, vale la pena destacar el entrenamiento que recibió el ingeniero José Amigo, por el equipo de OpenCFD, desarrolladores de Openfoam, descrito anteriormente.

Entre instancias de intercambio que se originaron para los colaboradores de FCR-CSET se reporta la generada a raíz de la visita del experto Pedro Horta de Fraunhofer ISE. De la misma manera, investigadores de FCR-CSET tuvieron la oportunidad de interactuar con los investigadores de Fraunhofer ISE que visitaron Chile con ocasión del seminario de AgroPV, los investigadores y expertos sres. Stephan Schindele y Georg Bopp.

Información detallada sobre los colaboradores del FCR-CSET-UC se encuentra en el Anexo N.7-Recursos Humanos-FCR-CSET-UC.

## 3.3 Gestión del Proyecto

### 3.3.1 Plazos efectivamente realizados vs. plazos considerados inicialmente

Actividad	Avance Programado	Avance Reportado a 13/02/2018	% Cumplimiento
<b>Corporativa</b>			
Trabajo preparatorio	100%	100%	100%
Temas Contractuales	100%	100%	100%
Proceso de selección y contratación cargos administrativos y de operaciones	100%	100%	100%
Habilitación infraestructura de oficina	100%	100%	100%

Proceso de selección y contratación de personal líneas de investigación	100%	100%	100%
Habilitación y Adquisición equipos y suministros	100%	100%	100%
Extensión de equipo y personal	100%	100%	100%
Capacitación a personal	100%	100%	100%
Reportes	100%	100%	100%

En términos generales, la línea corporativa cumplió con el compromiso adquirido, sin mayores contratiempos o demoras en la ejecución. No se presentan cambios en la primera actividad relacionada con Instalación del Centro. A la fecha se han presentado a CORFO los informes de avance técnico, de continuidad y los respectivos informes financieros, en su totalidad han sido aprobados por CORFO.

Actividad	Avance Programado	Avance Reportado a 13/02/2018	% Cumplimiento
<b>Electricidad Solar</b>			
Selección y adquisición de equipos para PV y CPV	100%	90%	90%
Desarrollo de inspección de plantas fotovoltaicas y mediciones de control de calidad	100%	100%	100%
Instalación de PV stand	100%	100%	100%
Servicios avanzados a la industria	100%	90%	90%
Investigación y Desarrollo de nuevas tecnologías	100%	95%	95%
Definición y adquisición de equipos para Concentración solar de potencia	100%	80%	80%
Instalación de equipamiento y configuración del laboratorio	100%	90%	90%
Análisis y adaptación de componentes	100%	80%	80%
Servicios avanzados a la industria	100%	70%	70%
Análisis de modelos y programas disponibles del sistema eléctrico y red de transmisión	100%	100%	100%
Entrenamiento en softwares y modelos	100%	100%	100%
Análisis del sistema eléctrico chileno y la introducción óptima de fuentes solares	100%	100%	100%

Preparación de propuestas sobre sistema eléctrico y red de transmisión	100%	100%	100%
Definición y adquisición de equipos para evaluación del recurso solar	100%	100%	100%
Instalación de equipamiento y configuración del laboratorio	100%	100%	100%
Análisis de ensuciamiento y las correspondientes tecnologías de limpieza	100%	90%	90%
Servicios avanzados a la industria	100%	90%	90%

La línea de Electricidad Solar presenta diferentes niveles de cumplimiento; en algunos casos se presenta retraso en cuanto al cumplimiento de las tareas, lo cual puede ser explicado por los tiempos que demora en la compra, importación y puesta en marcha de los equipos. No obstante, en términos generales el avance de los proyectos es satisfactorio, representando un retraso del 5%.

Actividad	Avance Programado	Avance Reportado a 13/02/2018	% Cumplimiento
<b>Calor Solar</b>			
Estudio de potencial de calor solar para procesos en la industria chilena	100%	110%	110%
Estudio de tecnologías: Colectores solares, intercambiadores de calor	100%	100%	100%
Análisis de integración con almacenamiento térmico	100%	90%	90%
Consultorías con la industria	100%	100%	100%
Estudio de potencial de cogeneración y refrigeración solar	100%	100%	100%
Estudio de tecnologías en refrigeradores accionados térmicamente	100%	100%	100%
Análisis de esquemas de integración	100%	90%	90%
Estudios de factibilidad	100%	110%	110%
Evaluación de los recursos utilizados en la industria	100%	110%	100%
Optimización de estrategias de control	100%	70%	70%

para integración a procesos			
Monitoreo	<b>100%</b>	120%	120%
Consultorías con la industria	<b>100%</b>	100%	100%

Actividad	Avance Programado	Avance Reportado a 13.02.2018	% Cumplimiento
<b>Tratamiento de Agua</b>			
Análisis y adaptación de la tecnología para destilación por membranas	<b>100%</b>	100%	100%
Desarrollo de concepto de sistema para Chile	<b>100%</b>	100%	100%
Instalar y evaluar prototipos para la industria	<b>100%</b>	50%	50%
Revisión de la tecnología de Osmosis Inversa	<b>100%</b>	100%	100%
Desarrollo de un concepto para Chile	<b>100%</b>	100%	100%
Instalación y evaluación de prototipos para la industria	<b>100%</b>	40%	55%
Análisis y adaptación de la tecnología para tratamiento de agua (ultra filtración y tratamiento UV)	<b>100%</b>	100%	100%

Actividad	Avance Programado	Avance Reportado a 12.02.2018	% Cumplimiento
<b>Desarrollo de Negocios</b>			
Coordinación con otras instituciones de I+D, (mesas redondas)	<b>100%</b>	100%	100%
Apoyo al comité estratégico nacional (Programa Estratégico Solar)	<b>100%</b>	100%	100%

Participación en IEA implementación de acuerdos	<b>100%</b>	100%	100%
Seminarios solares Fraunhofer Chile	<b>100%</b>	100%	100%
Coordinación con otras instituciones / Roles y gobierno	<b>100%</b>	100%	100%
Definición, adquisición e instalación de equipos.	<b>100%</b>	NA	NA
Operación de los equipos	<b>100%</b>	NA	NA
Servicios avanzados a la industria y otras instituciones	<b>100%</b>	100%	100%
Definición de objetivos generales Calama Solar	<b>100%</b>	100%	100%
Coordinación con otras instituciones / Roles y gobierno Calama Solar	<b>100%</b>	100%	100%
Investigación de Mercado y análisis de las necesidades de la industria chilena	<b>100%</b>	60%	60%
Desarrollo de certificados FCR	<b>100%</b>	40%	40%
Definición de tests y certificados para estándares chilenos	<b>100%</b>	75%	75%
Coordinación con gobierno para lineamientos en estandarización y certificación	<b>100%</b>	100%	100%

### 3.3.2 Gasto ejecutado vs. presupuesto inicial

Según información suministrada en los informes financieros, la ejecución del gasto se realizó según el presupuesto inicial.

### 3.3.3 Participación de las Instituciones y Empresas (u otras entidades socias).

Con respecto a la participación de la UC, como coejecutor, se reportan los siguientes proyectos de investigación:

RL1-Electricidad Solar:

1. Pronóstico de radiación solar. Prof. R. Escobar
2. Potencial Solar GIS. Prof. Pablo Osses.
3. Sistema de enfriamiento en CPV/Medición de transferencia de calor. Prof. A. Guzman
4. The SWITCH Model: Handling Uncertainty and Power Systems Flexibility. Prof. Daniel Olivares.
5. The SWITCH model: Analysis of energy policy and technology scenarios for Chile. Prof. Matias Negrete.
6. Robust design and economic analysis of power transmission grids for large-scale penetration of solar power. Prof. Enzo Sauma.

7. Risk, renewable energy and complementarity: The role of the electricity grid and energy storage. Prof. David Watts.

RL2-Calor Solar:

8. Metodología de predicción de materiales. Profesora Magdalena Walczak
9. Corrosión en sistemas solares y planta desalinizadoras. Profesor Francisco Recio.

RL3-Tratamiento de Aguas:

10. Desarrollo de Membrana. Modelación de sistema de destilación de membrana. Profesor Francisco Suarez.
11. Producción de Membrana. Prof. Alain Tundidor

Adicional a los proyectos de investigación anteriores, en abril del 2017 un segundo grupo de estudios inició actividades, en el marco de las tres líneas de investigación. La lista completa de dichas investigaciones es la siguiente:

UCE1: Estudio comparativo y optimización tecno-económica, nuevas tecnologías

UCE2: Desarrollo de conceptos y simulación.

UCE4: Estudios de factibilidad con diferentes conceptos de almacenamiento en alta temperatura.

UCE5: Estudios individuales para distintas industrias

UCE 6: Estudios de factibilidad de sistemas de Refrigeración y Cogeneración solar de pequeña escala para la industria chilena

UCE7: Investigación de tecnologías adecuadas de tratamiento de agua

UCE 8 – Modelación del desempeño de sistemas de refrigeración por absorción en TRNSYS

UCE9: Desarrollo de sistema conceptual PV-RO

UCE25: Estudio en desalinización costo eficiente PV-RO

UCE26: Desarrollo de sistema conceptual de tratamiento de agua para Chile

En el Anexo N.6-ProyectosUC se presenta el detalle de los proyectos ejecutados por la UC con recursos del fondo basal.

### 3.3.4 Organización y equipo de trabajo

#### Organización del proyecto 13CEI2-21803

## FCR-CSET Organigrama

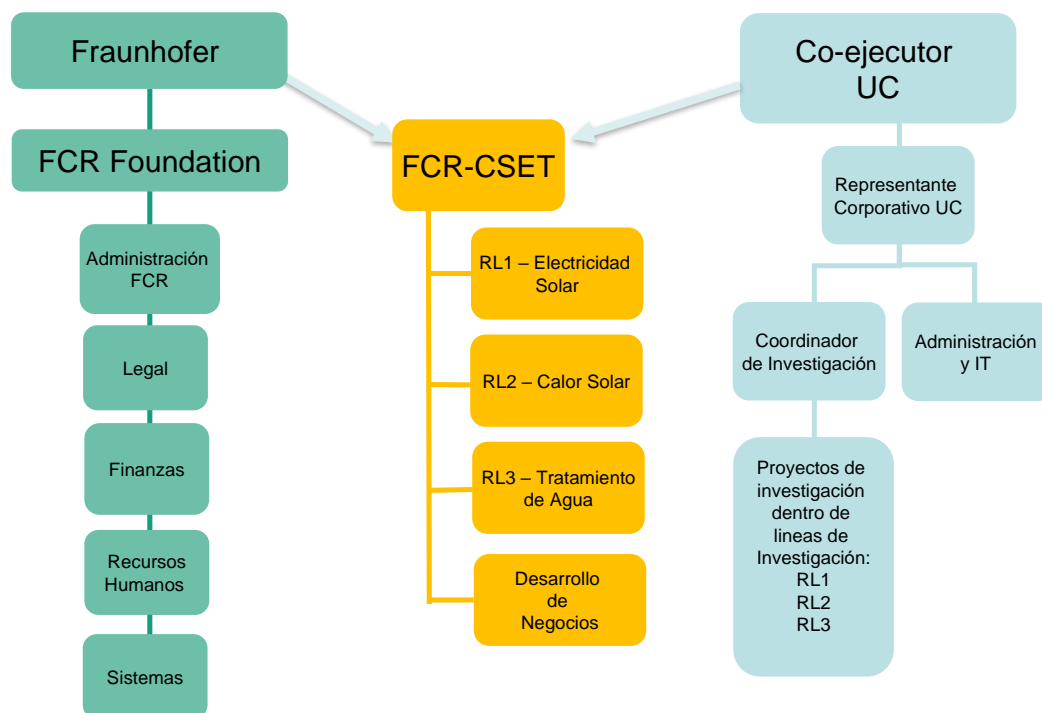


Figura 1: Organigrama del FCR\_CSET\_UC

#### Equipo de trabajo completo de FCR-CSET-UC (incluye personal administrativo, gestión e investigadores)

Durante el periodo del informe, se presentan cambios en la estructura del equipo de trabajo, a saber:

- Terminación de relación laboral por parte de Alan Pino, investigador de RL1-Electricidad Solar
- Terminación de relación laboral por parte de Felix Carrasco, investigador en RL3-Tratamiento de Aguas
- Contratación de los estudiantes de práctica Pablo Castillo y Camila Correa para la RL2-Calor Solar.

- Contratación de 4 nuevos investigadores por parte de la UC.

En el Anexo N.7-Recursos Humanos-FCR-CSET-UC, se puede consultar la lista completa del equipo de trabajo del proyecto, tanto con vínculo con la UC como con FCR-CSET.

**Equipo de trabajo del CEI-Alemania:**

N°	Nombre	Institución o entidad socia	Línea de Investigación	Título/Grado académico	Cargo / Función*
1	Joachim Koschikowski	Fraunhofer ISE	Tratamiento de aguas	PhD	Investigador
2	Joachim Went	Fraunhofer ISE	Tratamiento de aguas		Investigador senior
3	Stephan Schindele	Fraunhofer ISE	Todas las líneas	MBA	Investigador
4	Tom Fluri	Fraunhofer ISE	Electricidad Solar	PhD	Investigador
5	Bern Gregor	Fraunhofer ISE	Electricidad Solar	Estudiante de doctorado	Development of a new control method for heliostats based on a feedback loop
6	Branke Raymond	Fraunhofer ISE	Calor Solar	Estudiante de doctorado	Dynamic simulation and control of a polygeneration trough power plant
7	Cuevas Felipe	Fraunhofer ISE	Electricidad Solar	Estudiante de doctorado	Development of medium temperature low cost Fresnel collector for Chile
8	Helmke Annabell	Fraunhofer ISE	Calor Solar	Estudiante de doctorado	Solar Heat Integration Concepts for Industrial Processes in Regions with High Solar Radiation
9	Pohlisch Christiane	Fraunhofer ISE	Tratamiento de aguas	Estudiante de doctorado	Investigation of membranes for the separation of different constituents in a



					fluid by membrane distillation
10	Schimid Tobias	Fraunhofer ISE	Electricidad Solar	Estudiante de doctorado	Combined optimization of optics and solar cells for CPV
11	Schöttl Peter	Fraunhofer ISE	Electricidad Solar	Estudiante de doctorado	Optical and thermal simulation for a solar tower
12	Seubert Bernard	Fraunhofer ISE	Electricidad Solar	Estudiante de doctorado	Numerical and experimental investigation of a high-temperature thermocline storage with integrated evaporator
13	Van Rooyen De Wet	Fraunhofer ISE	Electricidad Solar	Estudiante de doctorado	Development of an astigmatically corrected heliostat
14	Vogel Alexander	Fraunhofer ISE	Electricidad Solar	Estudiante de doctorado	Evaluation of solar storage concepts for solar thermal power plants
15	Winter Daniel	Fraunhofer ISE	Tratamiento de aguas	Estudiante de doctorado	Application oriented optimization of membrane distillation modules
16	Kiefel Peter	Fraunhofer ISE	Electricidad Solar	Estudiante de doctorado	Analysis and optimization of Fresnel-lens based concentrator systems for photovoltaic application
17	Nitz Peter	Fraunhofer ISE	Solar Thermal and Optics	PhD	Head of department/Group: Industrial Processes, Water Treatment and Power Plant
18	Horta Pedro	Fraunhofer ISE	Solar Thermal and Optics	PhD	Head of department/Group: Thermal Industrial

					Processes and Systems
19	Obergfell Tabea	Fraunhofer ISE	Division Electrical Energy Systems	Environmental Engineering, Electrical Engineering	Autonomous Systems and Minigrids & User Behaviour and Field Trials
20	Jakob, Peter (former Kiefel)	Fraunhofer ISE	Solar Thermal and Optics	Dipl.-Phys.	Issues of silicone optics applied in concentrating photovoltaics

\*Para mayor fidelidad se deja el título en idioma original.

## 4 Informe de I+D, TT y PI

### 4.1 I+D realizados por el Proyecto

A continuación se detallan los procesos de I+D llevados a cabo durante la ejecución del proyecto, según cada línea de investigación. Detalles específicos de la información técnica se muestra sólo en los anexos respectivos.

#### 4.1.1 Línea 1. Desarrollo de Electricidad Solar:

- Sistemas CPV para la adquisición de datos, ubicados en Plataforma Solar del Desierto de Atacama, y el segundo instalado en la Universidad Técnica Federico Santa María sede Santiago. Hoy en día los sistemas se encuentran en proceso de calibración y adquisición de datos.
- Desde el punto de vista de la transferencia tecnológica, durante el periodo se finalizó la instalación del PVStand en la PSDA por un equipo experto desde Fraunhofer ISE. Adicionalmente, se capacitó a todo el equipo PV en terreno para poder utilizar este sofisticado equipo.
- En la estación de medición y monitoreo instalada en Diego de Almagro (Codesser), se ha capacitado al equipo de trabajo en la utilización de los distintos equipos de medición y su correcto análisis de datos.
- En el marco del proyecto Skycameras con EGP, se ha avanzado en la transferencia de conocimiento desde la UCSD en San Diego, USA, para el dominio, análisis y correcta predicción del recurso solar.

#### 4.1.2 Línea 2. Desarrollo de Calor Solar:

- Desarrollo de un modelo en Matlab sobre una planta de concentración de potencia (CSP) formada por colectores cilindro parabólico y un bloque de potencia, con el fin de incluir en cálculos y simulaciones, condiciones no contempladas en softwares populares como SAM.
- Estudio de tecnologías de integración de calor a procesos industriales de tipo discontinuo.
- Desarrollo de una metodología para integrar los sistemas de almacenamiento térmico y la energía solar en procesos industriales, concretamente en procesos discontinuos.

- Simulación de ciclos Rankine orgánicos. En este periodo se ha modelado un ORC con dos expansores y se han analizado diversos parámetros de entrada y su efecto en el comportamiento fuera de diseño.
- El estudio referido en el anexo del informe de continuidad como Study CSET-2017-PUB-004: “Potencial Vapor Solar Térmico en Chile para Procesos Industriales” y que aparecía como ‘to be finished in October 2017’. Se encuentra finalizado y por ello en este informe se presentan los resultados de manera más extensa que lo permitido por el informe de continuidad. Desarrollo de una herramienta que permite evaluar los costos nivelados de energía térmica para la generación de vapor (LCOH) a través de tecnologías de concentración solar.
- Se sigue trabajando para integrar algoritmos de aprendizaje automático (*machine learning*) en la optimización de tecnologías solares térmicas.
- Realización de un informe de procedimientos de monitoreo con información relativa a instrumentos de medición (sensores y actuadores), sistemas de adquisición y transmisión de datos, almacenamiento, procesamiento y visualización de datos.

#### **4.1.3 Línea 3. Desarrollo de Tratamiento de Aguas:**

- Se finaliza estudio de optimización de costos de sistema de Membrana de Destilación, para la industria privada. El concepto utiliza calor de rechazo del sistema de enfriamiento de una planta térmica, para producir agua purificada. El estudio indica que el costo de la membrana y los módulos de ésta son los que impactan de mayor forma al costo de inversión del sistema.
- Se hace entrega final de propuesta denominada “Brine Mine”, que hace uso de salmueras geotermales para la producción de minerales valiosos y agua purificada, a través de un sistema de Membrana de destilación, en conjunto con un proceso de Osmosis Inversa y Cristalización. Este proyecto se presentó a “Prototipos de Innovación”, y se tendrá respuesta final en enero de 2018.
- Se finaliza estudio de factibilidad para utilizar tecnología de Osmosis Inversa con sistemas fotovoltaicos.
- Se realiza estudio de sistemas de tratamiento de aguas residuales con tecnología de Fotocatálisis, especialmente aplicado en sistemas de agricultura hidropónica, desarrollando un concepto para ser aplicado en esta área. Este concepto se planea desarrollar en conjunto con la industria privada y con colaboración del instituto Fraunhofer IST (Alemania).
- Se estudia la tecnología de Destilación Solar a pequeña escala, específicamente el concepto de destilación Solar Evacuada Multietapa. En este ámbito se planea desarrollar un concepto de desalación a pequeña escala para uso agrícola y ganadero en el norte de Chile, en conjunto con la industria privada.

#### **4.1.4 Línea 4. Desarrollo de Nuevos Negocios:**

En cuanto a la gestión y actividades en colaboración con la academia, la ciencia y el ecosistema de tecnología, se presentan las siguientes actividades:

- Entrega Software de Modelación Soiling a empresa operadora de proyectos solares a gran escala.

- Obtención en conjunto con ObsTech (Spin-off Astro-Ingeniería UC) de Voucher de Innovación CORFO para validación de Cámaras de Cielo para nowcasting en plantas solares.
- Presentación de ofertas a empresas operadoras PV de Software de Simulación Optimización Soiling.
- En desarrollo proyecto de análisis oportunidades energía solar para empresa del rubro alimentos, (procesamiento de carnes).
- En desarrollo proyecto de levantamiento necesidades térmicas para campamento minero de gran escala, 4000 personas, para aplicación de energía solar.

#### **4.2 Síntesis de Actividades de Transferencia Tecnológica y Propiedad Intelectual**

- AgroPV
- PV-PV Stand
- PV-CPV
- Sky-Cámaras

#### **4.3 Síntesis de Actividades de Propiedad Intelectual**

Al cierre de la primera fase, el FCR-CSET aún no cuenta con actividades de creación de propiedad intelectual.

#### **4.4 Otros Impactos Producidos por el Proyecto**

##### **4.4.1 Impactos Institucionales en Chile**

Los trabajos realizados con la empresa Jucosol, sobre identificación de problemas de su sistema de energía solar, con el objeto de optimizar la utilización de calor y frío solar en la industria agro-alimentaria, genera un impacto positivo a nivel institucional al convertirse en un ejemplo concreto de buenas prácticas para la industria en Chile.

El desarrollo de la energía solar térmica no genera solamente un beneficio ambiental, sino que también tiene el potencial de mejorar la dependencia energética de las industrias, importaciones y generar exportaciones más competitivas, con el potencial de crear nuevos mercados.

##### **4.4.2 Impactos Ambientales**

De manera transversal las líneas de investigación tienen como objetivo la implementación de tecnologías solares, cuya adopción trae consigo una consecuente reducción de consumos de combustibles fósiles y, por tanto, una menor producción de CO<sub>2</sub>. De esta manera, la implementación de tecnologías solares, por ejemplo, derivada del análisis de consumos energéticos de la industria, tiene grandes impactos positivos en el medio ambiente, entre muchos otros.

Con base en los resultados del proyecto AgroPV, se da la posibilidad de congeniar dos industrias que competirán por espacio en el futuro, la agrícola y la producción de energía renovable. El impacto

ambiental consistirá en maximizar la producción de las cosechas gracias al beneficio del sombreado planificado, en conjunto con el uso de tecnologías de generación eléctrica no intensivas en emisiones de carbono. Adicionalmente, el proyecto, al reducir la radiación solar a la que están expuestos los cultivos, pretende disminuir los efectos del cambio climático y contribuir a la productividad de la agricultura a través de la disminución de la huella de carbono.

#### **4.4.3 Impactos Regionales**

Al proyecto AgroPV además permitirá que las tres plantas sean conectadas a las redes de distribución eléctrica correspondientes, mediante lo establecido en la Ley de Net Metering (Ley 20571), luego los beneficiarios (5 familias en cada planta) recibirán un pago o compensación en sus consumos energéticos, por los excedentes de energía que los sistemas fotovoltaicos produzcan, los cuales serán inyectados a la red de distribución.

En particular, en el proyecto Estrategias Energéticas Locales de Diego de Almagro y Chañaral, las contrapartes han sido las respectivas Municipalidades, CORFO, Ministerio de Energía, Gobierno Regional e Intendencia de Atacama, y han trabajado en colaboración y coordinación con el Observatorio de Ciudades UC. Esta coordinación en el trabajo genera ciudades con un desarrollo inclusivo, en el cual los habitantes son stakeholders de su propio desarrollo.

#### **4.4.4 Otros Impactos**

El seminario solar sobre usos del calor solar en la industria alimentaria mostró a estas industrias el potencial de esta tecnología para cubrir sus necesidades. Con asistentes de grandes y pequeñas empresas como Agrosuper, Nestle o Frutera aguas blancas.

Los trabajos relacionados con el WP 3.2 de la línea de Calor Solar relacionando Machine Learning (ML) y colectores solares, tiene el potencial de desarrollarse como mercado en Chile. Existen ya varios ejemplos internacionales del interés que levantan el tema del mantenimiento de las plantas solares<sup>2</sup> y del papel que puede tener las nuevas tecnologías para mejorar la situación<sup>3</sup>

---

<sup>2</sup>[http://www.solarthermalworld.org/content/maintenance-new-business-option-spain?utm\\_source=Newsweaver&utm\\_medium=email&utm\\_term=Maintenance+as+new+business+option+in+Spain&utm\\_content=All+Subscribers&utm\\_campaign=Solarthermalworld.org+Newsletter+January+2018](http://www.solarthermalworld.org/content/maintenance-new-business-option-spain?utm_source=Newsweaver&utm_medium=email&utm_term=Maintenance+as+new+business+option+in+Spain&utm_content=All+Subscribers&utm_campaign=Solarthermalworld.org+Newsletter+January+2018)

<sup>3</sup> <http://www.solarthermalworld.org/content/solar-thermal-goes-digital>

Anexo No. 1: Corporativo

**ANEXO No. 1: Corporativo**

**TITULO DE LA LINEA: Corporativa**

**NOMBRE DEL PROYECTO:**

FRAUNHOFER CHILE RESEARCH-(FCR)  
CENTRO DE TECNOLOGÍAS PARA ENERGÍA SOLAR (CSET)

**CÓDIGO DEL PROYECTO:**

13CEI2-21803

**NOMBRE DEL DIRECTOR DE PROYECTO:**

Prof. Dr. Werner Platzer

## Tabla de Contenido

<b>1</b>	<b>EQUIPO DE TRABAJO.....</b>	<b>64</b>
<b>2</b>	<b>DESARROLLO DE SINERGIAS ENTRE LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>64</b>
<b>3</b>	<b>EQUIPAMIENTO E INFRAESTRUCTURA OFICINA .....</b>	<b>64</b>
<b>4</b>	<b>ACTIVIDADES DE DIFUSIÓN .....</b>	<b>65</b>
4.1	Asistencia a eventos, cursos y pasantías .....	65
4.2	Reuniones/Contactos/Alianzas/Seminarios .....	65
<b>5</b>	<b>ACTIVIDADES .....</b>	<b>66</b>
	PROYECTO 1: Instalación del Centro .....	66
	PROYECTO 2: Operación del ICESE .....	67

## 1 Equipo de Trabajo

A continuación se detalla el equipo de trabajo contratado para adelantar las labores de la línea Corporativa:

N°	Nombre	Título/Grado académico	Cargo / Función
Proyecto 13CEI2 21803	Platzer, Werner	Físico y matemático. Phd en Energía Solar	Director CSET, desde abril de 2016 hasta 12.02.2018
Proyecto 13CEI2 21803	Dinter, Frank	Dr. Ing., Energía y Mecánica	Director CSET, desde 13.02.2018 hasta la fecha
Proyecto 13CEI2 21803	Oviedo, Marianny	Licenciada en Educación, con más de 8 años de experiencia en coordinación, planificación de eventos y logística.	Administradora Oficina en Corporativo
Proyecto 13CEI2 21803	Mendez, Laura	Ingeniera Civil Industrial, magister en administración y manejo programas de desarrollo.	Coordinadora de Proyecto CSET en Corporativo
Proyecto 13CEI2 21803-UC	Adams, Deny	Ingeniero	Coordinador Administrativo del proyecto en UC
Proyecto 13CEI2 21803-UC	Belaunde, Cesar	Ingeniero	Coordinador Técnico del proyecto en UC

## 2 Desarrollo de sinergias entre líneas de investigación

Por ser la línea Corporativa una línea de administrativa, no tiene relación directa con las líneas de investigación más allá de ofrecer el soporte necesario para que estas últimas realicen su trabajo.

## 3 Equipamiento e Infraestructura Oficina



Con el fin de complementar el equipo de trabajo correspondiente a instalación y equipo de oficinas, durante el tiempo reportado no se adquirió equipo nuevo para oficinas.

Por su parte, el Coejecutor UC adquirió equipo de cómputo, así como escritorios y sillas para la adecuación de sus oficinas.

#### 4 Actividades de difusión

##### 1.1 Asistencia a eventos, cursos y pasantías

Evento Curso pasantía	Lugar, Fecha	Asistentes	Descripción	Tipo
Encuentro anual Centros e Institutos Tecnológicos CORFO	Santiago de Chile, 27 Noviembre 2017	Frank Dinter, Mercedes Ibarra	Presentación y conocimiento entre los distintos centros e institutos tecnológicos de CORFO.	Asistencia y ponencia (Frank Dinter)

##### 1.2 Reuniones/Contactos/Alianzas/Seminarios

Reunión	Lugar, Fecha	Descripción
FCR – Consejo Directivo	Oficinas FCR, 06-12-2017	Reunión consejo directivo de FCR-Chile
FCR – Directores	Oficinas FCR, 13-12-2017	Reunión equipo de directores de FCR-Chile
Acuerdo de Colaboración + Engie	Oficinas Engie, 14-12-2017	Acordar términos para la firma del acuerdo de colaboración.
Reunión Bárbara Loeb - Coejecutor UC	UC, 14-12-2017	Reuniones periódicas para seguimiento al trabajo conjunto FCR-Chile y UC en el marco del proyecto CSET
Reunión SERC	Oficinas SERC, 15-12-2017	Acordar trabajo de cooperación y participación de FCR-CSET en proyecto SERC
Examinador estratégico CORFO	Oficinas CSET, 18-12-2017	Reuniones de seguimiento y solución de dudas con respecto a informe de continuidad y segunda fase del FCR-CSET.
Universidad Santa Catarina, Florianópolis, Brasil	Sede UTSC, Florianópolis 20 al 22 -12-2017	Acordar proyectos de colaboración conjuntos
Viaje a Fraunhofer ISE	01.02 – 19.02.2018	Visita de Frank Dinter a Fraunhofer ISE con el fin de adelantar reuniones

		con los investigadores asociados al proyecto FCR-CSET y acordar actividades de trabajo conjunto.
--	--	--

## 5 Actividades

### PROYECTO 1: Instalación del Centro

#### WP 1.1 Trabajo preparatorio

**Avance Real 100%**

##### **Descripción:**

De acuerdo con el cronograma de actividades presentado en la Carta Gantt de FCR-CSET, esta actividad se terminó de ejecutar en diciembre de 2015 y, por lo tanto, no hay actividades para reportar en el presente informe. Considerando que el Primer Informe de Avance Técnico fue recibido a satisfacción por parte de CORFO, concluimos esta actividad a satisfacción.

#### WP 1.2 Temas Contractuales

**Avance Real 100%**

##### **Descripción:**

El documento donde consta la adjudicación del ICESE fue enviado a Fraunhofer Chile Research con fecha 22 de noviembre de 2013, mientras que el documento que da cuenta de la constitución legal del FCR-CSET fue firmado el 13 de febrero de 2015. Dicho documento, junto con el convenio de subsidio firmado, copia de la Resolución 045 de 31 de diciembre de 2014 de InnovaChile, y el Decreto Exento No. 61 de 13 de febrero de 2015 son documentos que reposan en el archivo de CORFO. A la fecha, se da por finalizada esta actividad.

#### WP 1.3 Proceso de selección y contratación cargos administrativos y de operaciones

**Avance Real 100%**

##### **Descripción:**

A la fecha, el FCR-CSET da cuenta de la contratación del equipo de investigadores que acompañaron al Centro en su inicio. A la fecha, cambios de personal naturales a la ejecución de cualquier proyecto, se reflejan en la actividad 2.1, ver debajo.

#### WP 1.4 Habilitación infraestructura de oficina

**Avance Real 100%**

##### **Descripción:**

Las oficinas del FCR-CSET se encuentran ubicadas en el piso 8 del Centro de Innovación Anacleto Angelini, de la Universidad Católica en el campus San Joaquín. EL proceso de adecuación de oficinas terminó satisfactoriamente.

#### **WP 1.5 Proceso de selección y contratación de personal**

**Avance Real 100%**

##### **Descripción:**

Una vez culminado el 100% de avance en esta actividad se cerró el proceso de contratación para la instalación del Centro, tal como se reportó en informes anteriores. Las contrataciones posteriores a esta etapa serán descritas en la actividad 2.1 *Extensión of Equipment and Staff* de la actividad 2. *Operation of CSET*, según lo consignado en la Carta Gantt.

#### **WP 1.6 Habilitación y Adquisición equipos y suministros**

**Avance Real 100%**

##### **Descripción:**

Dentro del área corporativa se adelantaron todas las actividades para la adquisición de equipo de oficina, necesario para que los investigadores y personal administrativo realicen su trabajo. En este sentido, se compraron los computadores de trabajo, equipo para comunicaciones. Por su parte, la UC da cuenta de un 70 % referente a la habilitación del laboratorio de Energía Solar, ubicado en el Piso 7 del edificio de ciencias y tecnologías.

### **PROYECTO 2: Operación del ICESE**

#### **WP 2.1 Adquisición/Extensión de equipo y personal**

**Avance Real 100%**

##### **Descripción:**

Al cierre de la primera pase el FCR-CSET da cuenta de la contratación de más de 116 colaboradores, vinculados tanto al trabajo en FCR-CSET como al coejecutor CSET. Al cierre de la primera fase, 60 colaboradores se encuentran vinculados con contrato laboral, (tiempo completo o medio tiempo) al proyecto.

En particular, en el tiempo transcurrido desde la entrega del informe anterior, dos estudiantes de práctica ingresaron a la línea de Calor Solar. Por otro lado, los investigadores Alan Pino y Felix Carrasco, terminaron su contrato laboral con FCR-CSET.

La UC da cuenta la habilitación de oficinas, en el 5to piso del edificio de ciencias y tecnologías. Actualmente, en dicho espacio se encuentra el equipo de coordinación y profesionales.

En cuanto a compras, en el periodo del informe la línea Corporativa apoya la adquisición de equipos y software según los requerimientos de las líneas de investigación. Información detallada sobre las adquisiciones se encuentra en los Anexos correspondiente a cada línea y adjuntos a este reporte.

### **WP 2.2 Capacitación a personal**

**Avance Real 100%**

#### **Descripción:**

En el periodo a reportar, se llevaron a cabo capacitaciones relacionadas con temas de seguridad empresarial, dictadas por la ACHS. Así como también cursos y capacitaciones en manejo de softwares para simulaciones. Información detallada sobre los cursos a los cuales asistieron los colaboradores del proyecto se puede consultar en el [Anexo N.10-Asistencia Seminarios Cursos Pasantías](#).

### **WP 2.3 Reportes**

**Avance Real 100%**

#### **Descripción:**

A la fecha de entrega del presente informe, el FCR-CSET cierra su primera fase de funcionamiento, cumpliendo a satisfacción con la entrega de cinco (5) informes de Avance Técnico, un informe de continuidad y varios de hito crítico al inicio del proyecto. De la misma manera, la información ha sido enviada a través de la plataforma SGP, junto con las respectivas rendiciones financieras.

**Anexo No. 2: Electricidad Solar**

**Anexo No. 2: Electricidad Solar**

**TITULO DE LA LINEA:**

Electricidad Solar

**NOMBRE DEL PROYECTO:**

FRAUNHOFER CHILE RESEARCH-(FCR)  
CENTRO DE TECNOLOGÍAS PARA ENERGÍA SOLAR (CSET)

**CÓDIGO DEL PROYECTO:**

13CEI2-21803

**NOMBRE DEL DIRECTOR DE LINEA DE INVESTIGACIÓN:**

Dr. Patricio Valdivia L.

## Tabla de Contenido

<b>1. EQUIPO DE TRABAJO.....</b>	<b>72</b>
<b>2. DESARROLLO DE SINERGIAS ENTRE LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>74</b>
<b>3. EQUIPAMIENTO E INFRAESTRUCTURA.....</b>	<b>75</b>
<b>4. ACTIVIDADES DE DIFUSIÓN .....</b>	<b>75</b>
4.1 Asistencia a eventos, cursos y pasantías .....	75
4.2 Reuniones/Contactos/Alianzas .....	76
4.3 Publicaciones científicas ISI y poster .....	76
<b>5. NUEVOS PROYECTOS DE INVESTIGACION .....</b>	<b>77</b>
<b>6. PROYECTOS EN EJECUCIÓN (NO BASAL).....</b>	<b>77</b>
<b>7. DESCRIPCION ACTIVIDADES. ....</b>	<b>77</b>
PROYECTO 1: Tecnologías fotovoltaicas y de concentración fotovoltaica.....	77
PROYECTO 2: Concentración Solar de Potencia .....	79
PROYECTO 3: Análisis del sistema eléctrico y red de transmisión. ....	81
PROYECTO 4: Evaluación del Recurso Solar .....	81
<b>8. DESCRIPCION PROYECTOS DESARROLLADOS POR UC.....</b>	<b>93</b>

## Tabla de Figuras

Figura 1: Imagen del montaje de portamuestras en un sistema fotovoltaico en condiciones desérticas .....	83
Figura 2. Sistema de medición de radiación solar tipo Rotating Shadowband Irradiometer (RSI) a la izquierda, y equipos para comparación en terreno a la derecha. ....	84

Figura 3. Filtros de calificación de datos, RMIB (izquierda), CIE, NREL (derecha) ..... 85

Figura 4. Foto cielo tomada por cámara de cielo instaladas en planta fotovoltaica del Norte de Chile.  
..... 87

Figura 4: Valores erróneos registrados por el datalogger (Sin corregir), frente a los valores corregidos según la metodología explicada, para el día en la hora del datalogger se modificó (superior izquierda), un día intermedio (superior derecha) y el día en que se corrigió la hora del datalogger (inferior) ..... 91

Figura 5: Barrido de datos e identificación de las componentes GHI y DIF en comparación con la posición de la banda de sombreado (Wilbert, S. et al, 2015)..... 92

Figura 6: Componentes de Irradiancia en formato de hora UTC, antes de corregir (izquierda) y después de corregir (derecha). ..... 92

Figura 7: anomalías en las mediciones registradas (encerradas curva segmentada de color negro). .. 93

Figura 8: Respuesta de coseno típica para el piranómetro LI-200R (izquierda), y respuesta para varios ángulos de incidencia del sensor LI-200R (derecha), (LI-COR (2015)). ..... 93

## Índice de Tablas

Tabla 1. Errores calculados para la comparación de la data de Solargis y RSI..... 88

## 1 Equipo de trabajo

Proyecto I+D	Nombre investigador (Apellido, Nombre)	Cargo/función que desempeña en la línea	Título académico
Proyecto FCR-ICESE Cod 13CEI2 21803	Valdivia, Patricio	Director de Línea, desde enero 2017	PhD.
Proyecto FCR-ICESE Cod 13CEI2 21803	Pino, Alan*	Investigador, encargado del área de concentración solar	MSc.
Proyecto FCR-ICESE Cod 13CEI2 21803	Ayala, Paulo	Analista Fotovoltaico, investigador y analista de sistemas fotovoltaicos	MSc.
Proyecto FCR-ICESE Cod 13CEI2 21803	Gutierrez, Victor	Ingeniero en Electrónica Industrial. Universidad de Burgos, España y Magister en automática y electrónica Industrial. Universidad de Navarra,	MSc.
Proyecto FCR-ICESE Cod 13CEI2 21803	Muñoz, Constanza	Investigador	Profesional
Proyecto FCR-ICESE Cod 13CEI2 21803	Hernandez, Catalina	Ingeniera Civil Mecánico de la Universidad Técnica Federico Santa María, Chile, procesamiento de datos de radiación y meteorológicos de las estaciones solarimétricas instaladas en terreno.	Profesional
Proyecto FCR-ICESE Cod 13CEI2 21803	Osorio, Natalia	Ingeniera Civil Mecánica de la Universidad Santiago de Chile, Recurso Solar.	MSc
Proyecto FCR-ICESE Cod 13CEI2 21803	Zurita, Fernando	Ingeniero de Proyectos, participa en la elaboración de reportes y actividades de investigación.	Ingeniero en Electricidad y Automatización.



Proyecto FCR-ICESE Cod 13CEI2 21803	Michael Rogoll*	Pasantía	
Proyecto ICESE-UC Cod 13CEI2 21803	Escobar, Rodrigo	Director proyecto Coejecutor UC	PhD
Proyecto ICESE-UC Cod 13CEI2 21803	Sauma, Enzo	Investigador	PhD
Proyecto ICESE-UC Cod 13CEI2 21803	Osses, Pablo	Investigador	PhD
Proyecto ICESE-UC Cod 13CEI2 21803	Guzman, Amador	Investigador	PhD
Proyecto ICESE-UC Cod 13CEI2 21803	Olivares, Daniel	Investigador	PhD
Proyecto ICESE-UC Cod 13CEI2 21803	Negrete, Matias	Investigador	PhD
Proyecto ICESE-UC Cod 13CEI2 21803	Zurita, Adriana	Investigador	Student of PHD
Proyecto ICESE-UC Cod 13CEI2 21803	Lorca, Alvaro	Investigador	PhD
Proyecto ICESE-UC Cod 13CEI2 21803	Mata, Carlos	Investigador	Student of PHD
Proyecto ICESE-UC Cod 13CEI2 21803	Simek, Yeliz	Investigador	Student of PHD
Proyecto ICESE-UC Cod 13CEI2 21803	Castillejo, Armando	Investigador	Student of PHD
Proyecto ICESE-UC Cod 13CEI2 21803	Garcia, Maurianny	Investigador	Student of PHD
Proyecto ICESE-UC Cod 13CEI2 21803	Salgado, Marcelo	Investigador	Student of MSC
Proyecto ICESE-UC Cod 13CEI2 21803	Perez, Ismael	Investigador	Student of MSC
Proyecto ICESE-UC Cod 13CEI2 21803	Felbol, Carlos	Investigador	MSC
Proyecto ICESE-UC Cod 13CEI2 21803	Lukrafka, Kerstin	Investigador	MSC
Proyecto ICESE-UC Cod 13CEI2 21803	Valenzuela, Carlos	Investigador	MSC
Proyecto ICESE-UC Cod 13CEI2 21803	Watts, David	Investigador	PhD
Proyecto ICESE-UC Cod 13CEI2 21803	Mena, Rodrigo	Investigador	PhD
Proyecto ICESE-UC Cod 13CEI2 21803	Arias, Andrea *	Investigador	Student of MSC
Proyecto ICESE-UC Cod 13CEI2 21803	Chen, Daming	Investigador	MSC

Proyecto ICESE-UC Cod 13CEI2 21803	Moreno, Francisco	Investigador	MSC
Proyecto ICESE-UC Cod 13CEI2 21803	Dicapua, Mario	Investigador	MSC
Proyecto ICESE-UC Cod 13CEI2 21803	Veliz, Enrique	Investigador	Student of MSC
Proyecto ICESE-UC Cod 13CEI2 21803	Verastegui, Felipe	Investigador	Student of MSC
Proyecto ICESE-UC Cod 13CEI2 21803	Quiroga, Daniela	Investigador	MSC
Proyecto ICESE-UC Cod 13CEI2 21803	Bustos, Cristian	Investigador	PHD
Proyecto ICESE-UC Cod 13CEI2 21803	Perez, Rodrigo	Investigador	MSC
Proyecto ICESE-UC Cod 13CEI2 21803	Calabrese, Jazmine	Investigador	MSC
Proyecto ICESE-UC Cod 13CEI2 21803	Otálora, Rodrigo *	Investigador	MSC
Proyecto ICESE-UC Cod 13CEI2 21803	Molina, Alvaro *	Investigador	MSC
Proyecto ICESE-UC Cod 13CEI2 21803	Cardemil, Jose *	Investigador	PHD

Nota: Nombres con \* representan personas que en el transcurso del informe a rendir terminaron su vinculación laboral con CSET.

## 2 Desarrollo de sinergias entre líneas de investigación

Sinergia con	Descripción
<b>Calor Solar</b>	Colaboración con el grupo de investigación de la UC del área de Calor Solar sobre almacenamiento térmico, principalmente para el desarrollo de simulaciones en Trnsys. A futuro se pretende mantener esta colaboración.
<b>Desarrollo de Negocios</b>	Se ha apoyado a la línea de desarrollo de negocio en el desarrollo de evaluaciones fotovoltaicas. También se ha dado fuerte apoyo en el desarrollo del proyecto público de Plataforma de Innovación Abierta (PIA) de Fundación Chile y el FIC-R de Agro PV.
<b>Tratamiento solar de agua</b>	En este periodo no se ha habido sinergias con la línea de tratamiento de aguas
<b>Otros centros o institutos nacionales</b>	En el marco de la participación de CSET en el Programa Tecnológico Solar AtamosTec, se está realizando un trabajo colaborativo con las Universidades pertenecientes a SERC (U de Antofagasta, U de Chile, U de Concepción, UTFSM, U Adolfo Ibáñez)

	Liderados por la Universidad Técnica Federico Santa María, y junto con la CSET y otros centros de I+D, se ha realizado una postulación al programa Programa Tecnológico de Hidrógeno en la Minería.
<b>Otros centros o institutos Internacionales</b>	En el marco de la participación de CSET en el Programa Tecnológico Solar AtamosTec, se está realizando un trabajo colaborativo con los Centros INES de Francia y ISC-Konstanz de Alemania.
<b>Fraunhofer ISE</b>	En el marco de la transferencia de tecnología PV Stand desde Fraunhofer ISE a Chile, se recibió capacitación en Chile para uso y análisis de resultados de este equipo directamente desde el grupo de trabajo encabezado por el Dr. Stefan Brachmann. En el marco de la colaboración con Fraunhofer ISE en el proyecto regional FIC-R de AgroPV, se organizó el seminario AGROPV: ENERGÍA SOLAR PARA UNA AGRICULTURA SUSTENTABLE conjuntamente con el Gerente de proyectos Dr. Stephan Schindele

### 3 Equipamiento e infraestructura

Nombre Equipo	Ubicación/laboratorio	Proyecto.
inclinometro profesional (Bosch GIM 60L)	Santiago	PV/CPV
Interfaz para instrumentación llamado LabView.	Santiago	PV/CPV
Software de modelación y simulación fotovoltaica llamado PVSol	Santiago	PV/CPV

### 4 Actividades de difusión

#### 4.1 Asistencia a eventos, cursos y pasantías

Evento/ Curso/ Pasantía	Lugar, Fecha	Asistentes	Descripción	Tipo
Seminario: El Futuro de la Energía en la V Región	Valparaiso, UTFSM, 23/11/2017	Patricio Valdivia Lefort	Exposición del futuro de la energía solar en la V región	Expositor
Seminario PV	Hotel Plaza El Bosque Ebro, Santiago, 23/11/2017	Constanza Munoz, Paulo Ayala, Fernando Zurita	Difundir parte del trabajo interno del Centro CSET y CSB de Fraunhofer en el proyecto AGRO PV	Ponencia, asistencia

Seminario PV	Santiago, 23/11/2017	Constanza Munoz, Paulo Ayala, Fernando Zurita	Difundir parte del trabajo interno del Centro CSET y CSB de Fraunhofer en el proyecto AGRO PV	Ponencia, asistencia
Curso Termografía	Santiago 30/11/2017	Fernando Zurita	Aprender y aplicar tecnología visual de Termografía aplicado a plantas PV	Asistencia
Seminario PLECS	Valparaíso, UTFSM, 30/11/2017	Constanza Munoz, Fernando Zurita	Incorporar un nuevo sistema de ---simulación de sistemas eléctricos, en específico fotovoltaico	Asistencia
Work Shop Programa Tecnológico: AtamosTec	Santiago, 15- 18/01/2018	Patricio Valdivia, Paulo Ayala	Work Shop con todos los partners de PTEC para iniciar operaciones en Chile	Ponencia, Asistencia
Kick-Off Programa Tecnológico: AtamosTec	Antofagasta, 19/01/2018	Patricio Valdivia	Inauguración del PTEC para iniciar operaciones en Chile.	Asistencia

#### 4.2 Reuniones/Contactos/Alianzas

Asistentes	Fecha	Reunión
Catalina Torres	CORFO, Santiago. 12/2017	Reuniones de coordinación panel y sub-comité CORFO
Work Shop Programa Tecnológico: AtamosTec	Santiago, 15-18/01/2018	Work Shop Programa Tecnológico: AtamosTec
Sub-comité CORFO	CORFO, 25-01-2017	Subcomité Corfo, evaluación Continuidad del Centro FCR Solar
Reuniones posibles proyectos	Diversas fechas	Posibles futuros proyectos: NCI, Collahuasi, Enerbosh, EGP, Solar Reserve, Coordinador Eléctrico,

#### 4.3 Publicaciones científicas ISI y poster

Publicación	Factor de impacto actual
<i>Bifacial Technology Performance Compared With Three Commercial Monofacial PV Technologies under Outdoor High Irradiance Conditions at the Atacama Desert. Conferencia de la IEEE y PVSEC.</i>	Abstract enviado
<b>Ponencia Oral</b>	

## 5 Nuevos proyectos de investigación

No se desarrollaron nuevos proyectos de investigación basal en el transcurso del presente reporte. Debido a que estamos en el etapa final de la fase uno, se dio continuidad a los proyectos en ejecución actualmente.

## 6 Proyectos en Ejecución (NO BASAL)

Proyecto uno	Nombre del director	Fecha de inicio	Fecha de término
Skycámaras	Patricio Valdivia Lefort, PhD	01-11-2017	01-11-2019
<b>Descripción:</b> Durante la ejecución del Proyecto Cámaras de Cielo se ha logrado una transferencia de tecnología desde la UCSD en USA, donde están desarrollando una cámara de cielo para llevar a cabo el nowcasting o predicción de corto tiempo para la generación fotovoltaica.			
Proyecto dos	Nombre del director	Fecha de inicio	Fecha de término
Brazo robótico con NCI	Patricio Valdivia Lefort, PhD	01-11-2017	30-06-2019
<b>Descripción:</b> Proyecto en ejecución. Rol de CSET es entidad I+D+i del contrato tecnológico de la empresa NCI			

## 7 Descripción Actividades.

### PROYECTO 1: Tecnologías fotovoltaicas y de concentración fotovoltaica

#### WP 1.1 Selección y adquisición de equipamiento

## **Avance Real 90%**

### **Descripción:**

En este periodo reportado se adquirió un inclinómetro profesional (Bosch GIM 60L) con una precisión de  $\pm 0,1$  grados, el cual es sumamente necesario para reducir la incertidumbre en la medición del ángulo de inclinación en cualquier proyecto fotovoltaico.

Celdas de referencia y algunos equipos electrónicos han expirado su calibración durante este periodo. En el corto plazo se planifica realizar estas calibraciones con institutos acreditados internacionalmente.

En cuanto a Concentración Fotovoltaica, durante este periodo se ha instalado finalmente el segundo sistema CPV de 3.2 KWc en las dependencias de la Universidad Santa María, campus Santiago, en el marco del convenio de colaboración la empresa BOZZENERGY. De esta manera se ha completado la instalación del segundo sistema y ambos ya se encuentran registrando datos para un futuro análisis y estudio.

Finalmente, para mejorar la modelación específica y detallada de sistemas fotovoltaicos y para obtención de datos de prototipos o sistemas de estudio, se adquirirá durante el mes de enero un software para la creación de una interfaz para instrumentación llamado LabView y un software de modelación y simulación fotovoltaica llamado PVSol.

### **WP 1.2 Desarrollo de inspección de plantas fotovoltaicas y mediciones de control de calidad**

## **Avance Real: 100%**

### **Descripción:**

De acuerdo al reporte anterior FCR-CSET ya ha evaluado en terreno más de 200 MW en Chile, más la apertura internacional de inspecciones de plantas FV. En este contexto se busca proseguir el trabajo realizado y se ha acordado una colaboración con Engie Lab en temas de infraestructura de calidad, evaluación de conformidad y servicios avanzados a la industria fotovoltaica.

Fernando Zurita, integrante del equipo fotovoltaico, asistió a una capacitación de termografía, la cual consistió la instrucción del uso de cámaras termografías, tanto teórica como práctico. Termografía se utiliza para identificar componentes bajo estrés térmico o posibles fatigas de material y es una importante herramienta para evaluar aspectos de confiabilidad y durabilidad de componentes fotovoltaicos, tales como: módulos fotovoltaicos, inversores, diodos, cableado, cajas de combinación, entre otros.

### **WP 1.3 Instalación de PV Stand**

## **Avance Real: 100%**

### **Descripción:**

El sistema PVStand fue finalmente instalado en la PSDA (Plataforma Solar del Desierto de Atacama) en donde fue puesto en marcha y quedó a la espera a las adecuaciones de infraestructura para su instalación definitiva. Además, el equipo fotovoltaico CSET recibió una capacitación especializada en terreno de parte de Fraunhofer ISE para el uso de este sofisticado equipo.

#### **WP 1.4 Servicios avanzados a la industria**

**Avance Real 90%**

##### **Descripción:**

Se ha capacitado al resto del equipo en temas de utilización de trazadores de Curva IV, adquisición de datos en terreno e instalación de bancos de baterías en la estación de medición y monitoreo CODESSER. Esta instalación está destinada exactamente a evaluar tecno-económicamente distintas tecnologías fotovoltaicas: monocristalino, policristalino, capa fina y bifacial. Cada tecnología es monitoreada minuto a minuto por un trazador de curva IV, de manera de contar con información muy detallada del comportamiento de acuerdo con distintas variables meteorológicas.

Además, el estudiante de magister alemán, Michael Rogoll, terminó su experimentación para módulos bifaciales en condiciones de nieve, desierto y ciudad. Se espera que al final de este periodo sea recibido el documento final de su investigación.

Finalmente, se considera un trabajo colaborativo con el laboratorio de nanotecnología de la Universidad Diego Portales para trabajar en nuevas tecnologías como *heterojunction* y *perovskite*. Estas tecnologías se encuentran en pleno desarrollo a nivel mundial y están consideradas como promisorias.

#### **WP1.5 Investigación y desarrollo de nuevas tecnologías**

**Avance Real: 95%**

##### **Descripción:**

En el contexto de soporte avanzado para la industria fotovoltaica, Miguel Bravo se encuentra trabajando en el desarrollo técnico de brazos robóticos de limpieza de paneles fotovoltaicos para plantas solares. Este brazo robótico se encuentra en etapa de diseño técnico para ser implementado en laboratorio.

Además, se entregó una propuesta de trabajo a SunEdison que se enfoca en el estudio de degradación de su planta frecuentemente y de esta forma conocer a ciencia cierta cómo se degradan efectivamente los módulos fotovoltaicos en un punto específico del Desierto de Atacama.

El co-ejecutor UC finalizó y entregó reporte del siguiente estudio: Tecnologías de módulos FV: tendencias actuales y estudios comparativos, desarrollado por la Ing Kerstin Lukrafka.

#### **PROYECTO 2: Concentración Solar de Potencia**

##### **WP 2.1 Selección del sistema y adquisición**

#### **Avance Real 80%**

##### **Descripción:**

No se presentan avances en esta actividad durante el periodo.

#### **WP 2.2 Instalación de equipo y laboratorio**

#### **Avance Real 90%**

##### **Descripción:**

Continúan los estudios de ensuciamiento en rack instalado con muestras de espejos en el desierto de Atacama (Likana, Toco, Tamarugal, PSDA), se suma la instalación del rack en la estación de medición en Diego de Almagro. El objetivo de esta instalación es realizar pruebas en condiciones reales del ensuciamiento de espejos y medir la reducción de reflectancia para evaluar la tasa diaria de ensuciamiento utilizando el reflectómetro D&S 15-RGB adquirido para este fin.

#### **WP 2.3 Análisis de componentes y adaptación**

#### **Avance Real 80%**

##### **Descripción:**

Se ha trabajado en conjunto con el profesor Javier Recio de la Universidad Católica para la instalación de un rack de corrosión en las cercanías de Diego de Almagro, estación de medición CODESSER, el cual se encarga de estudiar el deterioro de distintos metales que se utilizan en sistemas de energía solar a lo largo de un cierto periodo bajo condiciones reales del desierto.

Se avanza en la tesis de investigación del Ingeniero Civil Mecánico de la UTFSM el Sr. Victor Estrada correspondiente a estudios locales de reflectancia de espejos de colectores solares, tasas de ensuciamiento y caracterización del polvo de un sitio del desierto de Atacama, mediante exposición de muestras de espejos en terreno.

#### **WP 2.4 Servicios a la industria**

#### **Avance Real 70%**

##### **Descripción:**

El co-ejecutor UC finalizó y entregó reportes de los siguientes estudios:

- Desarrollo de herramientas de simulación para plantas de Concentración Solar de Potencia, desarrollado por el Ing Carlos Felbol. CSP
- Technical and economic studies, desarrollado por el Ing Rodrigo Mena.



### **PROYECTO 3: Análisis del sistema eléctrico y red de transmisión.**

**NOTA:** El conjunto de actividades asociadas a este *Task* de la carta Gantt fueron desarrolladas por el ejecutor UC y se explican como proyectos en el numeral 8-Descripción Proyectos Desarrollados por UC, al final de este anexo y también en el Anexo N.6-Proyectos UC.

#### **WP 3.1 Análisis de modelos y programas disponibles**

**Avance Real %**

**Descripción:**

#### **WP 3.2 Entrenamiento en Software y modelos**

**Avance Real %**

**Descripción:**

#### **WP 3.3 Análisis del sistema eléctrico chileno y la introducción óptima de fuentes solares**

**Avance Real %**

**Descripción:**

#### **WP 3.4 Preparación de propuestas**

**Avance Real %**

**Descripción:**

### **PROYECTO 4: Evaluación del Recurso Solar**

#### **WP 4.1 Definición y adquisición de equipos**

**Avance Real 100%**

**Descripción:**

Durante el periodo no se adquirieron equipos adicionales

#### **WP 4.2 Instalación de Equipamiento y configuración del laboratorio**

**Avance Real 100%**

**Descripción:**

Actualmente el equipo FCR-CSET cuenta con cuatro estaciones de medición de recurso solar, de éstas tres son de propiedad del cliente y una es de propiedad de FCR-CSET, la cual está instalada en Diego de Almagro, Copiapó, y se realiza el servicio de evaluación de recurso solar, en el marco del Programa Estratégico Solar. Esta estación, denominada CODESSER, fue instalada a finales de agosto del 2017 y su puesta en marcha se realizó en 9 de septiembre del 2017. La figura 1 muestra una imagen del montaje de portamuestras para análisis de condiciones en desierto.

**WP 4.3 Análisis de ensuciamiento y las correspondientes tecnologías de limpieza:****Avance Real 90%****Descripción:**

Durante este periodo se terminó de planificar la investigación del estudio detallado de ensuciamiento en condiciones desérticas a nivel mundial, este constará de 3 sub investigaciones. La primera tendrá como objetivo establecer la composición y variabilidad del ensuciamiento a través del tiempo y su relación con las diferentes variables meteorológicas. La segunda experimentación evaluará en efectividad, tiempo y costo los diferentes métodos de limpieza existentes en la industria fotovoltaica Chilena. Y a partir de los dos estudios anteriormente mencionados se realizará la tercera investigación, la cual analizarán y evaluarán diferentes opciones de recubrimiento en paneles fotovoltaicos para atenuar el ensuciamiento en el desierto de Atacama.

Existieron avances en la investigación de composición y variabilidad del ensuciamiento, que durante Octubre se instalaron en el desierto de Atacama (cerca de Diego de Almagro), portamuestras sobre un sistema fotovoltaico, las cuales se ensuciaron naturalmente durante un mes y fueron retiradas a lo largo del periodo para ver el avance del ensuciamiento en el tiempo. Con las muestras se busca caracterizar químico/físicamente el ensuciamiento, además de las pérdidas de transmisión ópticas que esto significa para un sistema fotovoltaico. Posteriormente se busca asociarlo con las pérdidas eléctricas y variables meteorológicas que se están midiendo en terreno.



Figura 1: Imagen del montaje de portamuestras en un sistema fotovoltaico en condiciones desérticas

Desde el mes de diciembre se está trabajando con el laboratorio de nanotecnología de la Universidad Diego Portales para utilizar sus equipos de microscopia y su experiencia relacionada, complementándose con CSET para cuantificar las pérdidas ópticas y caracterizar Físico/Químicamente las muestras de ensuciamiento de Diego de Almagro.

#### **WP 4.4 Servicios avanzados a la industria:**

**Avance Real 90%**

**Descripción:**

**Comparación en Terreno**

**Descripción:**

El servicio de evaluación de recurso solar que se entrega actualmente se realiza con sistema de medición de radiación solar tipo Rotating Shadowband Irradiometer (RSI) y sensores climáticos adicionales (ver Figura 2). El RSI es un sistema robusto que mide radiación global horizontal y también radiación difusa en plano horizontal cuando la banda sombrea al sensor (con cierta frecuencia), con estas mediciones se puede obtener la radiación horizontal directa y, por consiguiente, calcular la DNI según la trayectoria del sol. El piranómetro es de silicio (fotodiodo), por lo que requiere una mínima mantención en comparación con los piranómetros de termopila.



*Figura 2. Sistema de medición de radiación solar tipo Rotating Shadowband Irradiometer (RSI) a la izquierda, y equipos para comparación en terreno a la derecha.*

La calidad de los datos registrados de corroborada mediante algoritmos de calificación según los criterios de estándares internacionales para radiación solar, definidos por la BSRN, CIE, NREL y RMIB. Estos criterios definen límites mínimos y máximos para los cuales se considera físicamente posible un valor de medición de radiación (GHI, DNI o Difusa) en una ubicación y fecha específicas, en función a estos criterios se establecen filtros físicos, lógicos, ante criterios de cielo claro y radiación extraterrestre (ver figura 3).

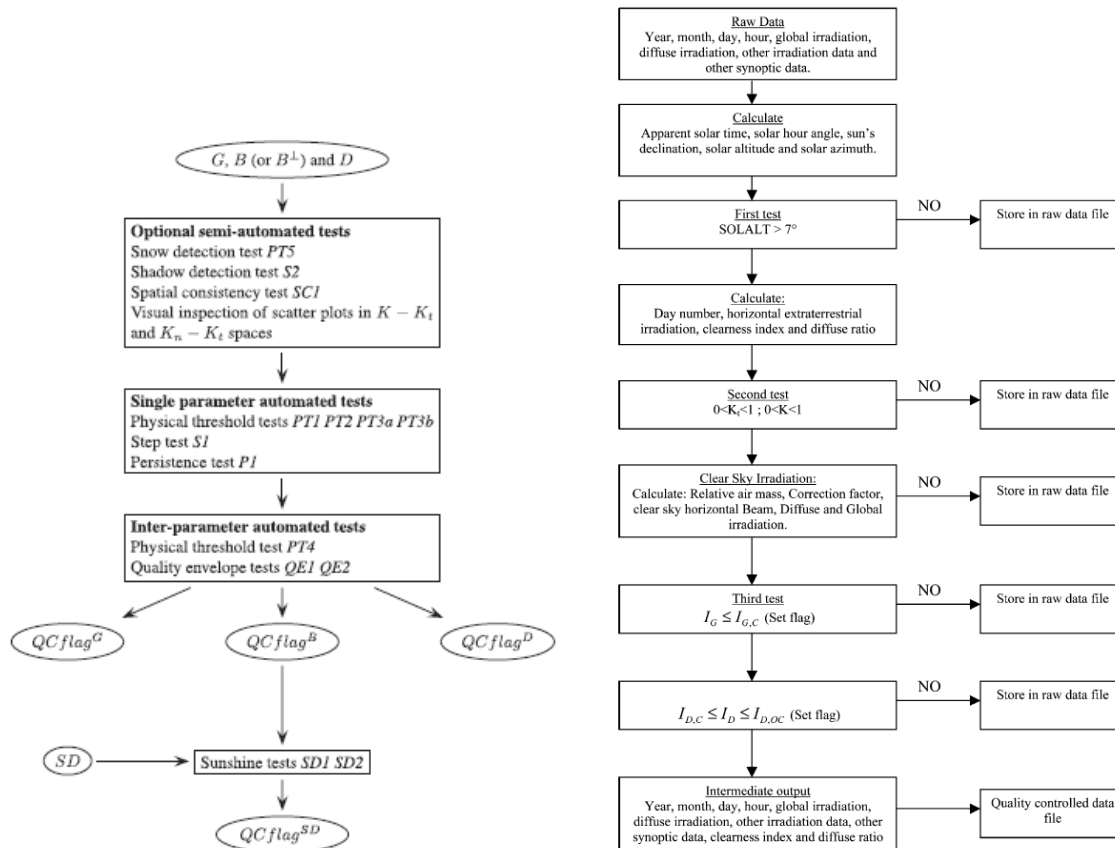


Figura 3. Filtros de calificación de datos, RMIB (izquierda), CIE, NREL (derecha)

Las mediciones realizadas por el RSI son comparadas en terreno cada 2 meses, con mediciones de irradiancia realizadas con un piranómetro de termopila para la componente global, y pirheliómetro (termopila) para la componente directa normal (DNI). La medición de irradiancia directa normal (DNI) requiere de seguimiento de la trayectoria solar, el cual se realiza por medio de un trípode con seguimiento automático que corresponde a la base de un telescopio. Los equipos utilizados en la comparación en terreno son:

- DNI: Pirheliómetro CHP1, Kipp&Zonen, SN: 150305 (ISO 9060: first class). (Fondo Proyecto CORFO 13 CEI2-21803)
- Trípode con seguimiento automático, correspondiente a la base del telescopio Celestron 114 LCM. (Fondo Proyecto CORFO 13 CEI2-21803).
- GHI: Piranómetro CMP10, Kipp&Zonen, SN: 174535 (ISO 9060: Secondary Standard). (Fondo utilidades por servicios a clientes privados)

Las comparaciones de las mediciones del sistema RSI con los sensores de menor incertidumbre y mayor respuesta espectral (sensores de termopila), permite validar los datos registrados por los sensores de

photodiode (RSI), analyze the uncertainty associated with its measurements for different elevation angles of solar, and if necessary correct or recalibrate the sensors of photodiode.

Currently work is being done in a protocol of comparisons in the field, based on some criteria of calibration of pyranometers of thermopile (ISO 9846 e ISO 9847) with the object of maintaining in level of uncertainty of the measurements within the desired range and if possible reduce it. This point is motivated by the new sensor of irradiance used in the RSI system (Li-200R) which has a different geometry and in consequence the correction of the measurements that requires is also different. The solar resource team is working on improving the corrections applied, taking as a base the measurements of the sensors of higher standard (thermopile).

### **Mejoramiento y adaptación de métodos de Now-forecasting:**

#### **Descripción:**

The project consists in a short-term prediction service of the production of a photovoltaic plant. Said plant is located 70 km northwest of Calama in the II region. For this there are two sky cameras, manufactured by the University of California, San Diego, which are the property of the client, and where FCR-CSET besides installing them in the plant, has to configure the prediction software in the client's servers. The service agreement is divided into three stages. Currently this project is at the end of the second stage, which began with the installation of the two cameras in the photovoltaic plant. In this phase it has been achieved to establish communication between the cameras and the server that processes the images.

Currently the cameras are operating taking photographs of the sky every 30 seconds. These images have been used as part of the calibration process of the same. These images will also be used for the configuration of the necessary parameters for the correct functioning of the software and to facilitate a reliable prediction.

The cameras have experienced some failures that the FCR-CSET team has managed to solve in several field trips causing a delay in the initial work plan.

As of today the prediction result is not the expected, for which in the actuality there are conversations between UCSD and the client to determine the actions to be carried out to be able to obtain a reliable prediction result given that the current problems are outside the capabilities of the FCR team, but they come from the software developer.

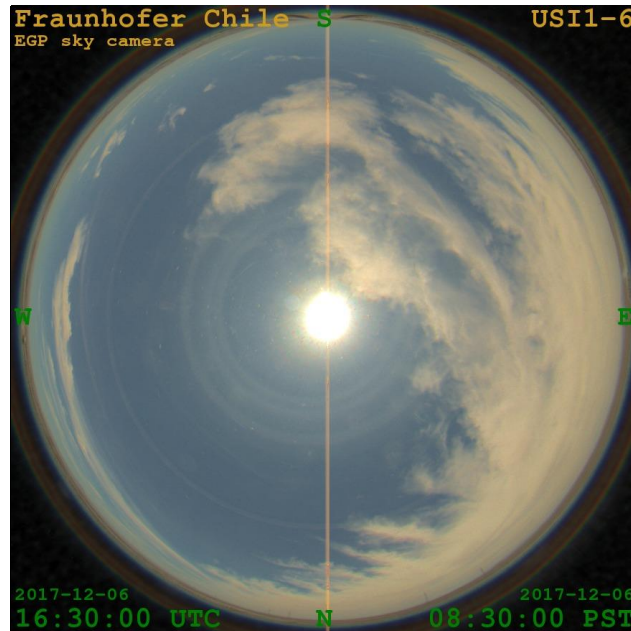


Figura 4. Foto cielo tomada por cámara de cielo instaladas en planta fotovoltaica del Norte de Chile.

### Soporte y solución de problemas en desarrollo de proyectos y operación de plantas

#### Descripción:

FCR-CSET entrega el servicio de evaluación del recurso solar mediante la instalación y el monitoreo de estaciones solarimétricas en terreno. Personal del centro asesora la instalación de los instrumentos adecuados para cada localización. Una vez la estación se encuentra en operación, se entregan reportes mensuales donde se analizan las mediciones recopiladas cuya calidad está testeada con una serie de filtros lógicos y físicos, y se efectúan visitas al lugar mensuales, o cada dos meses, con el fin de chequear el correcto funcionamiento de los equipos durante al menos un año.

En el periodo comprendido por este reporte se cuenta con cuatro estaciones en funcionamiento: una en la Región de Iquique, dos en la Región de Antofagasta y una en la Región de Copiapó. Siendo los equipos de la estación de Copiapó de propiedad de FCR-CSET a diferencia de las otras tres donde las estaciones son de propiedad del cliente. El contrato de la estación ubicada en Iquique y el de una de las ubicadas en la región de Antofagasta, tienen fecha de término el 31 de enero del 2018, por lo que actualmente se está en conversaciones con el cliente para extender dichos contratos. La estación solarimétrica ubicada en la región de Copiapó fue instalada a fines de agosto del 2017 y desde sus inicios ha sido utilizada para capacitar al personal de FCR-CSET tanto en el manejo del RSI para recurso solar, como en los equipos de medición fotovoltaica.

Además en las estaciones solarimétricas ocasionalmente ocurren algunos inconvenientes que obligan al equipo a reaccionar de manera reactiva, implementando soluciones que luego se transforman en capacidades, y pueden ser implementadas de forma preventiva en la evaluación de recurso solar. Los principales desafíos que ha sorteado el equipo de recurso solar durante este periodo son:

### Uso de datos Satelitales para completar datos de las tres componentes de radiación

En una de las estaciones solarimétricas no se registraron los niveles de irradiación ni variables meteorológicas a causa de sobre-escritura del dataloger tras superar su capacidad de almacenamiento de datos. Por esta razón, y en base a la experiencia anterior en la adaptación a sitio a partir de una serie de datos horaria de estimación satelital (proveedor Solargir) se decidió utilizar los datos adquiridos de Solargis de las componentes GHI, DNI y DIFF, en intervalos de 30 minutos, para completar la base de datos horaria y diaria.

La metodología empleada consistió en la comparación de la información de Solargis con la obtenida a través del sistema de RSI en terreno considerando un intervalo de tiempo de 14 días antes y 14 días después de la data no registrada. Para este análisis se consideró las horas de sol durante el día (desde las 7:00 hasta las 21:00 en horario local) y la irradiación en sus tres componentes global horizontal (GHI), directa normal (DNI) y difusa horizontal (DIFF), con esto se calcula el error porcentual y el error absoluto por hora entre los datos de Solargis y los medidos por el RSI considerando los 28. El resultado del análisis se muestra en la Tabla 4.

Horas de sol	GHI		DNI		DIFF	
	Error absoluto (W/m <sup>2</sup> )	Error porcentual (%)	Error absoluto (W/m <sup>2</sup> )	Error porcentual (%)	Error absoluto (W/m <sup>2</sup> )	Error porcentual (%)
7:00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%
8:00	-0.02	-28.57%	0.00	0.00%	0.02	-28.57%
9:00	2.69	23.77%	-6.72	2236.00%	3.93	37.15%
10:00	23.33	14.80%	33.84	437.07%	16.02	41.47%
11:00	7.24	1.46%	-55.05	-6.57%	32.62	59.07%
12:00	12.03	1.68%	-53.11	-5.44%	44.65	70.81%
13:00	26.39	3.07%	-19.61	-0.84%	39.25	68.35%
14:00	19.36	1.94%	-42.61	-4.01%	56.09	79.31%
15:00	26.96	2.65%	-25.47	-1.17%	49.74	78.59%
16:00	22.34	2.24%	-34.23	-3.43%	52.61	72.26%
17:00	26.60	3.28%	-21.88	-1.10%	44.11	62.83%
18:00	16.09	2.48%	-30.09	-1.83%	36.21	56.46%
19:00	0.18	0.09%	-63.63	-7.84%	31.35	53.71%
20:00	-1.24	-0.14%	-56.10	-7.57%	15.42	39.49%
21:00	-8.27	-21.69%	-64.58	-29.62%	-0.47	4.28%

Tabla 1 . Errores calculados para la comparación de la data de Solargis y RSI

De la tabla anterior se observa que la data de Solargis representa de mejor manera la componente global horizontal por sobre la directa normal y difusa, siendo esta última sobreestimada por Solargis y la DNI subestimada. Esto ocurre debido a que el modelo de Solargis es conservador al caracterizar las condiciones atmosféricas del norte de Chile, a causa en parte de la baja atenuación atmosférica que el



norte de Chile presenta. En consecuencia y en base a la experiencia anterior se usaron los datos de Solargis para completar la data horaria y diaria.

### **Desarrollo del modelo de BRL para completar obtener datos irradiancia difusa y directa.**

En una de las estaciones de solarimétricas la hora interna del datalogger sufrió una modificación, y se adelantó en 4 horas, esta modificación no programada fue luego descubierta por el equipo de FCR-CSET y corregida, la solución a las consecuencias de esta modificación requirió del desarrollo de una nueva metodología.

El programa interno del RSI opera en función de la hora del datalogger, está es usada en el cálculo del ángulo de elevación solar, el que luego se utiliza en el cálculo de la componente DNI y en las corrección de los valores de irradiancia. Además la hora controla la operación de banda de sombreamiento, para que está no funcione durante la noche. El cambio de la hora del datalogger provocó que se registraran valores erróneos en el intervalo de tiempo entre el cambio de hora del datalogger y la corrección, estos errores son:

1. Registros erróneos de DNI y Difusa durante las primeras horas del día, a causa de que la banda de sombreamiento no operó.
2. Registros de DNI erróneos entre el cambio de hora del datalogger y la corrección, debido a que el ángulo de elevación solar usado para el cálculo DNI, se determina a partir de la hora del datalogger
3. Registros incorrectos de GHI durante la mañana, debido a las correcciones realizadas por masa de aire y ángulo de incidencia, las que dependen del ángulo de elevación solar, y por lo tanto de la hora del datalogger.

Para corregir los datos registrados la metodología aplicada es la siguiente:

Se corrigió la hora del datalogger para las mediciones afectadas, y con esto se corrigió el ángulo cenital, que es el complemento del ángulo de elevación solar.

Se corrigieron los valores de GHI, a partir de los valores los valores brutos de GHI y Difusa (RAW), según la ecuaciones 1, donde  $F_\alpha$ ,  $F_A$ ,  $F_B$  y  $F_C$  son factor de corrección.

$$GHI = GHI_{Raw} \frac{F_\alpha}{F_A F_B F_C} \quad (1)$$

1. Se calculó DNI para las horas en que la banda de sombreamiento si operó, en función de los valores correctos de GHI y ángulo cenital (*Zenith*), como se indica en la ecuación 2.

$$DNI = \frac{GHI - Difusa}{\cos(Zenith)} \quad (2)$$

2. Se calculó los datos faltantes de Difusa por medio de modelo BRL (Ridley, Boland & Lauret 2010)
3. Se calculó la DNI para las horas que la banda de sombreamiento no operó en función de las componentes GHI y difusa, y del ángulo cenital (ecuación 2).
4. Se corrigieron los valores horarios y diarios de base de datos del mes, para los días y horas afectadas, a partir del cálculo de los valores por minuto.

### Determinación de componente Difusa Horizontal con modelo BRL

El modelo de BRL ha sido diseñado para obtener la irradiancia difusa horizontal a partir de la irradiancia global horizontal, ya que con estas dos componentes, más cálculos trigonométricos en función de la posición del sol, es posible determinar la DNI. Así, aplicando el modelo de BRL es posible caracterizar el recurso solar de un sitio cuando solo se tienen datos de GHI. Este modelo ha sido presentado el año 2010, y debe su nombre a sus autores Boland-Ridley-Lauret "BRL" (Ridley, Boland & Lauret 2010).

Previamente existían otros modelos para predecir la componente difusa en función de GHI, tales como Reindl (1990), Perez (1992), Skartveit (1998), sin embargo operan mucho mejor en el hemisferio norte que en el sur. BRL es un modelo de predictores múltiples, y consiste en calcular la fracción difusa ( $FD$ ) por medio de sus predictores, estos son el índice de claridad horario  $k_t$ , índice de claridad diario  $K_t$ , altitud solar  $\alpha$ , hora solar aparente  $AST$  y la irradiación global como persistente  $\varphi$  (Ecuación 3). Luego con el valor de la fracción difusa se obtiene la componente difusa a partir de GHI (Ecuación 4)

$$FD = \frac{1}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1 k_t + \beta_2 AST + \beta_3 \alpha + \beta_4 K_t + \beta_5 \varphi}} \quad (3)$$

$$Diff = GHI \cdot FD \quad (4)$$

El modelo de BRL posee ciertos valores numéricos de los ponderadores  $\beta_i$ , pero para obtener mejores acotados a la estación, se entrenó el modelo para encontrar ponderadores que dieran mejores resultados. Para esto se emplearon 42 días aledaños a los días en que era necesario completar las horas faltantes, y se redujo el valor de error relativo entre la fracción difusa real y la calculada con el modelo de BRL.

Los valores obtenidos de irradiancia difusa horizontal por medio del modelo BRL (ecuaciones 3 y 4) fueron comparados con los valores reales de irradiancia difusa del mes, para las horas en que la banda de sombreado sí pasó, obteniendo un error de Sesgo Medio de -4.54% (MBE) y RMSE de 22.7%. Luego los resultados de DNI obtenidos por la ecuación 2, para las horas en que la banda no pasó también fueron sometidos a los mismos estimadores de error, obteniendo un Sesgo Medio de -1.15% (MBE) y RMSE de 5.3%, por lo que se concluye que el modelo conduce a buenos resultados. En la figura 4 se muestran los resultados de los valores erróneos registrados, frente a los valores corregidos para un día inicial, un día intermedio y el último día al que se aplicó el modelo de BRL.

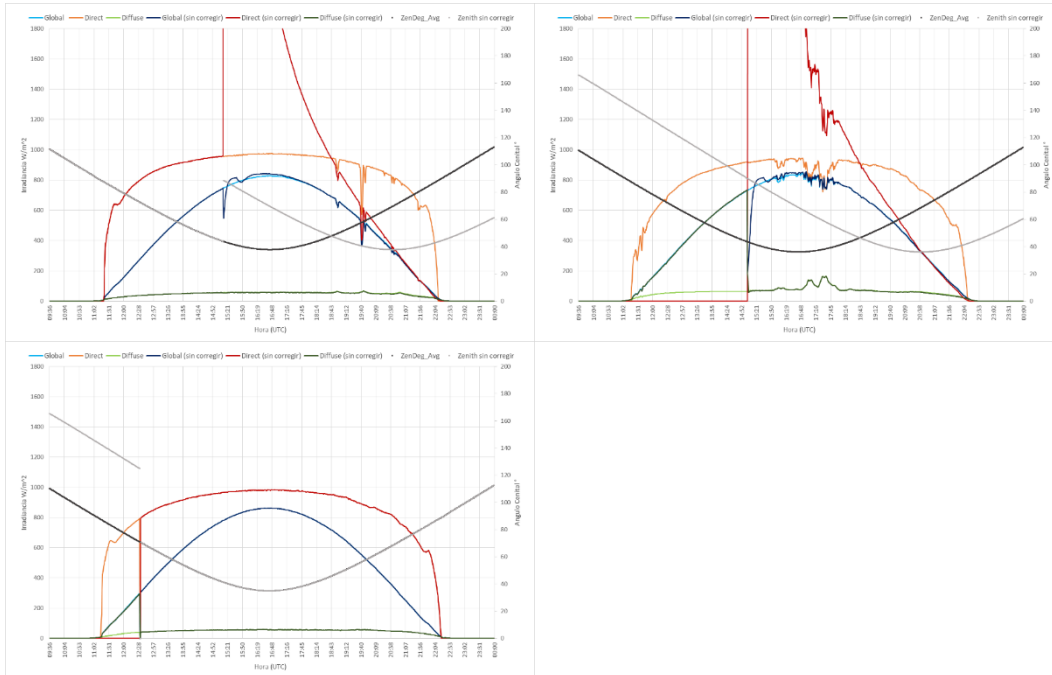


Figura 4: Valores erróneos registrados por el datalogger (Sin corregir), frente a los valores corregidos según la metodología explicada, para el día en la hora del datalogger se modificó (superior izquierda), un día intermedio (superior derecha) y el día en que se corrigió la hora del datalogger (inferior)

## Referencias

- (1) Ridley, B., Boland, J., & Lauret, P. (2010). Modelling of diffuse solar fraction with multiple predictors. *Renewable Energy*, 35(2), 478-483.
- (2) Reindl DT, Beckman DT, Duffie JA. Diffuse fraction correlations. *Solar Energy* 1990; 45(1): 1–7
- (3) Perez RR, Ineichen P, Maxwell EL, Seals RD. Dynamic global-to-direct irradiance conversion models. *ASHRAE Transactions* 1992: 354–69. Research Series.
- (4) Skartveit A, Olseth JA, Tuft ME. An hourly diffuse fraction model with correction for variability and surface albedo. *Solar Energy* 1998; 63(3): 173–83.

### Uso de métodos de mínimos cuadrados para completar minutos de datos.

El sistema del Rotating Shadowband Irradiometer (RSI) mide las componentes GHI y Difusa gracias a la velocidad de respuesta del sensor (tiempo de respuesta  $<1\mu\text{s}$  (LI-COR (2015))). El sistema mide la irradiancia e identifica la componente difusa de la irradiación de acuerdo al valor mínimo registrado, en un intervalo de tiempo, este valor mínimo corresponde al instante en que la banda de sombreado está sobre el sensor. Los valores de GHI son obtenidos del promedio del resto de las mediciones excluyendo a los valores que hacen referencia a la componente difusa (ver figura 5). Con

las mediciones de estas dos componentes (GHI y DIF) el sistema calcula la DNI en función del ángulo cenital, como se presenta en la ecuación 5.

$$DNI = \frac{GHI - DIF}{\cos(Zenith)} \quad (5)$$

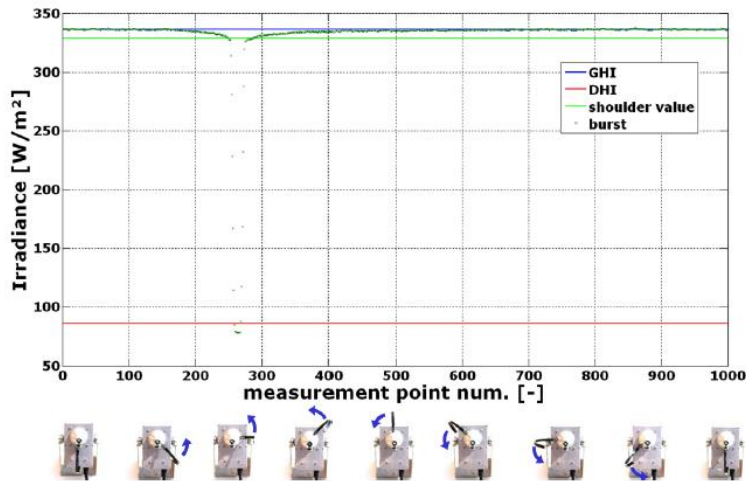


Figura 5: Barrido de datos e identificación de las componentes GHI y DIF en comparación con la posición de la banda de sombreado (Wilbert, S. et al, 2015).

Durante un mantenimiento programado, se desactivo la banda de sombreado por algunos, en consecuencia se registraron valores erróneos de DIF y DNI durante este intervalo de tiempo (valor nulo de la componente de DNI y el valor de la componente GHI es equivalente a la componente DIF, situación que se daría para un periodo de tiempo totalmente nublado). Por este motivo el personal de FCR-CSET corrigió los valores utilizando funciones de interpolación para cada componente, obtenidas por medio del método de mínimos cuadrados con minimización de residuos. La figura 6 presenta las tres componentes de irradiancia previas y posteriores a la corrección de datos

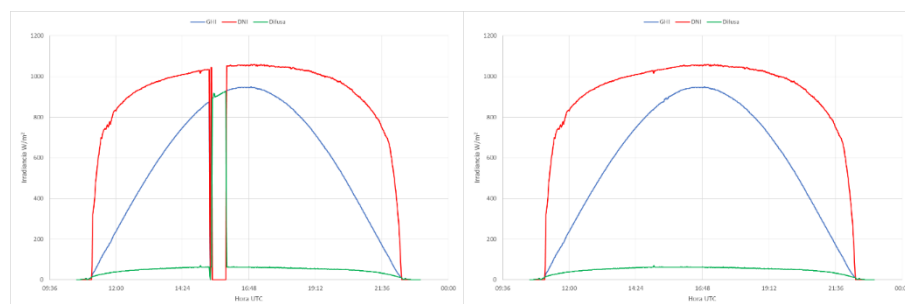


Figura 6: Componentes de Irradiancia en formato de hora UTC, antes de corregir (izquierda) y después de corregir (derecha).

**Mejora de los factores de corrección para un piranómetro de fotodiodo con diferencias geométricas.**

En dos estaciones solarimétricas se está usando un nuevo sensor de fotodiodo (Li-200R). El equipo de FCR-CSET advirtió algunas anomalías en las mediciones (ver figura 7). Esto se debe a que el cálculo de las componentes de irradiación realizado por el RSI incorpora algunas correcciones asociadas a la naturaleza del sensor, una de estas es el factor de corrección tiene relación con la exactitud del sensor para distintos ángulos de incidencia en función a la geometría del mismo, y geometría del sensor varía entre el sensor antiguo y el licor 200R. La figura 8 ilustra de qué manera influye en ángulo de incidencia en la exactitud de la respuesta del sensor. Actualmente está trabajado en la corrección de estos factores.

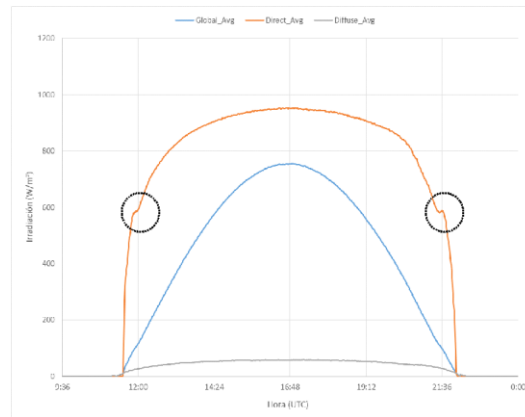


Figura 7: anomalías en las mediciones registradas (encerradas curva segmentada de color negro).

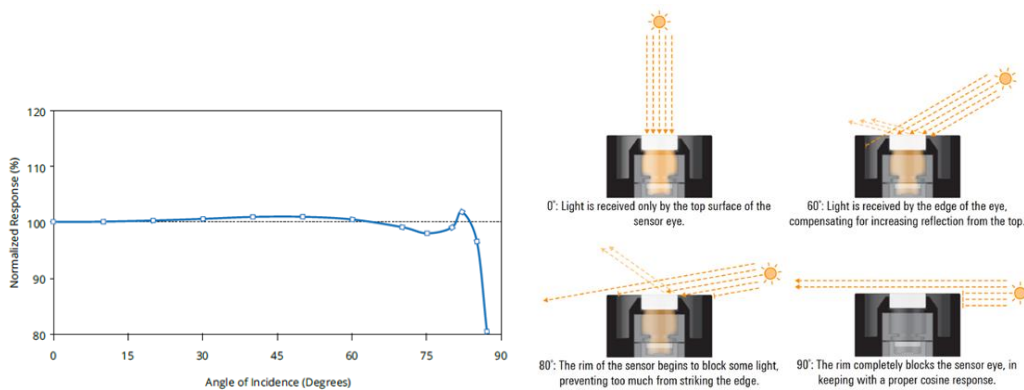


Figura 8: Respuesta de coseno típica para el piranómetro LI-200R (izquierda), y respuesta para varios ángulos de incidencia del sensor LI-200R (derecha), (LI-COR (2015)).

## 8 Descripción Proyectos Desarrollados por UC

N°	Nombre del proyecto	Institución(es) Líder(es)	Fecha de Inicio	Fecha de Terminación	% Avance programado	% Avance Real
1	Pronóstico de radiación solar	PUC	01/09/2016	13/02/2018	100%	85%

En este informe anual, los métodos de predicción basados en el modelo de persistencia se evaluaron como métodos de predicción de la irradiancia. También, se llevó a cabo la correlación entre los márgenes de incertidumbre de radiación, y la caracterización del efecto de la evaluación de la variabilidad y de efecto sobre la reducción de energía. Diferentes horizontes temporales fueron evaluados y los errores resultantes se cuantificaron a alta y baja variabilidad.

Se emplearon las métricas de variabilidad para estudiar las características de variabilidad de la irradiancia de Santiago y eventos de restricción de magnitud, se estimó a partir de datos de operación reales de la planta desde del Coordinador eléctrico chileno (anteriormente CEDEC-SIC) y validados contra modelos de producción-irradiancia de potencia para el caso de la planta Solar de Quilapilún. Por último, se estimó el impacto económico de restricción para ambos casos: los datos y las proyecciones reales para entender la relación entre las variables involucradas. Además, la relación entre la irradiancia, su variabilidad, el impacto en la producción de energía como un efecto de esquemas de restricción y su impacto en la estabilidad de la red se ha aclarado.

El impacto económico de las políticas de restricción y su alcance se ha demostrado, a través de un modelo de estimación de la producción de plantas en condiciones de cielo despejado y teniendo en cuenta sólo los datos de producción de la misma y su capacidad instalada. Este modelo fue validado con los métodos convencionales de estimación de la producción a partir de datos de irradiancia y sus resultados se encontraron para ser correcta con errores de menos del 5%. La justificación de este modelo de estimación es que los datos de restricción reales no son abiertamente disponible y es necesario tenerlos en una base para cuantificar la energía potencial desperdiciada y su valor económico correspondiente.

Este resultado sirve como la base para establecer el límite superior del valor económico de un servicio de previsión y proporcionará directrices relativas a la estructura de costos del servicio de acuerdo con el tamaño y características de la operación en la que funcionará este servicio. En este estudio, la pérdida trimestral estimado de 23 plantas solares para el primer trimestre de 2016 resultó en 1.125 MMUSD, que se puede considerar una cantidad significativa, sobre todo si se tiene en cuenta el hecho de que las restricciones no era homogénea y algunas plantas, como por ejemplo "Luz solar del Norte" tomó tanto como el 34,5% de las pérdidas totales.

Diferentes métodos de previsión se han evaluado en diferentes escalas de tiempo y se ha encontrado que en todos los casos con un horizonte de pronóstico más corta es la exactitud de los aumentos de pronóstico, sin embargo, los métodos utilizados son muy sensibles a las características de variación de la irradiancia en el tiempo, ya que el error se correlaciona en gran medida con las características de variabilidad de los días analizados. Para días con un perfil de

irradiancia cerca de la extraterrestre, los métodos de predicción tienen errores aceptables en horizontes de tiempo cortos, pero en la medida en que los comportamientos de las exposiciones de irradiancia más irregulares la exactitud de los métodos analizados disminuye. Ver Anexo N.- 1.

<b>2</b>	<b>Potencial Solar y restricciones del terreno - GIS</b>	<b>PUC</b>	<b>01/09/2016</b>	<b>13/02/2018</b>	<b>100%</b>	<b>85%</b>
----------	--	------------	-------------------	-------------------	-------------	------------

El presente proyecto tiene como objetivo principal, contribuir con la información necesaria para realizar una primera aproximación hacia la estimación del Potencial Solar Efectivo (PSE) existente en las regiones de Tarapacá y Metropolitana; entendiéndose como PSE el resultante al corregir el potencial solar total (teórico) en función de los elementos territoriales que restringen su aprovechamiento, pudiendo estos elementos corresponder al medio físico o antrópico. De este modo, el potencial solar que se considera efectivo es aquel que toma en cuenta las restricciones físicas, humanas y legales que posee el territorio para su explotación.

En este contexto, es que en primer lugar, se realizó una revisión bibliográfica para conocer el estado del arte en la estimación del Potencial Solar y su expresión espacial en Chile; a continuación se definieron los elementos del medio físico y antrópico que se deben considerar de modo de aproximarse al PSE existente en las dos regiones consideradas; de igual forma se identificaron y analizaron los Instrumentos de Planificación Territorial que deberían ser incorporados; seguidamente se recopiló información georreferenciada que representa todos los elementos anteriormente definidos, esta información se encontraba en formato SHP. A continuación la información recopilada se sometió a un primer proceso de sistematización y transformación a formato KMZ. En la actualidad, se está realizando una sistematización definitiva de toda la información georreferenciada con el objeto de mejorar su interoperabilidad, maximizando así su uso potencial por parte de las distintas líneas de investigación.

<b>3</b>	<b>Sistema de enfriamiento en CPV/Investigación experimental de transferencia de calor</b>	<b>PUC</b>	<b>01/09/2016</b>	<b>13/02/2018</b>	<b>100%</b>	<b>75%</b>
----------	--	------------	-------------------	-------------------	-------------	------------

El proyecto ha consistido en el análisis experimental del sistema de enfriamiento de una celda fotovoltaica con concentración (CPV), mediante mini canales.

El proceso experimental se ha estado desarrollando en tres actividades:

1. Análisis experimental de una fuente térmica que emula la fracción de la radiación solar concentrada que no es transformada en electricidad por la celda fotovoltaica.
2. Acoplamiento de la actividad (1) con sistema de mini canales para su enfriamiento.
3. Uso de fuente de radiación, celda fotovoltaica y mini canales para el enfriamiento.

El propósito de este proyecto es demostrar que usando sistemas de refrigeración activos microcanales-base, la eficiencia del sistema CPV puede ser mejorada, manteniendo la temperatura del lado frío de la célula PV en una baja temperatura controlada. Estamos construyendo dos conceptos experimentales y derivaciones de los mismos para lograr nuestro propósito. Estamos seguros de que nuestros diseños pueden conducir a mejoras en la gestión de la extracción de calor y la eficiencia general del sistema CPV.

4	<b>Switch model: Handling uncertainty and power system Flexibility. Switch model: Energy policy and technology scenarios</b>	PUC	01/09/2016	13/02/2018	100%	75%
---	--	-----	------------	------------	------	-----

Este proyecto consta de dos partes, cada una compuesta de varias tareas que se describen:

**Parte 1:** Manipulación de incertidumbre y Flexibilidad del sistema eléctrico. Se compone de las siguientes tareas:

**Tarea 1.1:** Migrar el modelo SWITCH-Chile a la de código abierto basado en lenguaje Python optimización Pyomo, para facilitar la aplicación de optimización avanzada técnicas y modularidad a favor del modelo general (tarea completada a un 100%).

**Tarea 1.2:** Actualizar el modelo de cambio a un modelo de planificación estocástica. Esta tarea permitirá la consideración de la incertidumbre de los precios de los combustibles fósiles, la disponibilidad de agua y fuentes de energía renovables, con el fin de obtener soluciones de planificación. (Tarea terminada a un 100%).

**Tarea 1.3:** Incorporar una representación detallada de la red de agua: Esta es una característica que no se ha modelado con precisión en la versión actual del software, dado que fue diseñada inicialmente para el análisis de los sistemas de energía principalmente térmicas. Sin embargo, en el caso chileno, el modelado de la red de agua y depósitos es altamente relevante para producir un análisis preciso (tarea completada a un 100%).

**Tarea 1.4:** incorporar modelos aproximados o reducidas de las limitaciones operativas mientras se mantiene la trazabilidad computacional (tarea completada a un 100%).



**Parte 2:** Análisis de la política y la tecnología energética Escenarios de Chile Parte 2 del proyecto se compone de las siguientes tareas:

**Tarea 2.1:** Construcción e implementación de una base de datos completa de los sistemas de energía de Chile, incluyendo los recursos de generación, la demanda y tecnologías (tarea completada a un 75%).

**Tarea 2.2:** Integración de CSP, las tecnologías geotérmicas, respuesta de la demanda (DR) y la generación distribuida (DG) en INTERRUPTOR (tarea completada a un 75%).

**Tarea 2.3:** Desarrollo de escenarios de generación, transmisión y distribución, y los precios del combustible en 2050 en Chile (tarea completada a un 50%).

**Tarea 2.4:** La simulación de la política energética y escenarios tecnológicos (tarea completada a un 25%). Ver Anexo N.-4.

5	<b>Robust design and economic analysis of transmission grids.</b>	PUC	01/09/2016	13/02/2018	100%	100%
---	---	-----	------------	------------	------	------

El primer gran objetivo del proyecto fue el desarrollar un modelo de expansión de la capacidad del sistema eléctrico que co-optimiza la expansión de la generación y transmisión y considera distintos niveles de coordinación entre los agentes del mercado. Este objetivo permitirá contar en el futuro con sistemas eléctricos más robustos y con una mayor flexibilidad para acomodar la incorporación de energías renovables intermitentes como la energía solar.

El segundo gran objetivo del proyecto fue el estudiar la influencia del ordenamiento territorial en la planificación de la expansión de la transmisión eléctrica. Este objetivo permite hacer un análisis respecto a la interacción de los objetos de valoración con potencial impacto en el desarrollo de la expansión de la transmisión eléctrica.

Las actividades que se desarrollaron fueron:

- Se realizó una revisión bibliográfica de los modelos de expansión de la capacidad del sistema eléctrico que co-optimiza la expansión de la generación y transmisión considerando la generación eléctrica. Esta actividad fue pensada debido a que el primer objetivo del proyecto fue el desarrollar un modelo de expansión de la capacidad del sistema eléctrico que co-optimiza la expansión de la generación y transmisión y considera distintos niveles de coordinación entre los agentes del mercado.
- Se formuló un modelo MILP (programación lineal entera-mixta) de expansión de la capacidad del sistema eléctrico que co-optimiza la expansión de la generación y transmisión. Esto es debido a que los modelos MILP permiten garantizar la convergencia del algoritmo de resolución a una solución óptima global, en tiempo polinomial.

- Se obtuvieron datos de las principales redes chilenas (centrales de generación y demandas eléctricas del sistema). Esto para poder aplicar el modelo al caso chileno.
- Se construyó una versión estilizada del sistema de transmisión SIC y SING considerando su interconexión. Esto para poder aplicar el modelo al caso chileno.
- Se caracterizaron los objetos de valoración que tienen potencial impacto en el desarrollo de la expansión de la transmisión eléctrica.
- Se desarrolló un mapa de factores de conflicto territorial en las áreas estudiadas.
- Se analizó cómo los objetos de valoración afectan el largo y/o el costo de las líneas de transmisión.
- Se desarrolló un modelo de expansión de la capacidad de generación, tanto renovable como convencional, que considera distintos niveles de coordinación de los agentes del mercado, además de las restricciones territoriales producto de los objetos de valoración en las inversiones en transmisión.
- Se aplicó el modelo propuesto a las redes eléctricas de los sistemas SIC y SING (sistema eléctrico nacional).
- Se analizaron los impactos de distintos niveles de coordinación entre los agentes del mercado que hacen inversiones de transmisión en el sistema eléctrico nacional.
- Se desarrollaron dos manuscritos con los principales resultados del estudio.

Cabe destacar también que, luego del ajuste presupuestario, el proyecto “Robust Design and Economic Analysis of Power Transmission Grids for Large-Scale Penetration of Solar Power” no contempló viajes.

6	Risk, renewable energy and complementarity	PUC	01/09/2016	13/02/2018	100%	100%
---	--	-----	------------	------------	------	------

El proyecto Risk, renewable energy and complementarity se destaca de otros por el desafío de la inclusión de dos variables fundamentales de los sistemas de energía, la red de transporte y la capacidad de almacenamiento de la misma. De esta forma el título en extenso del proyecto es el siguiente:

Risk, renewable energy and complementarity: the role of the electricity grid and energy storage  
 El Proyecto desarrollaba sus actividades principalmente en tres etapas, una de revisión bibliográfica y levantamiento de modelos matemáticos de las distintas materias antes nombradas, otra de desarrollo de modelos de producción renovable (solar y eólica) y medición de la

complementariedad de esta producción de energía renovable, y otras donde se juntan las modelaciones del uso óptimo de almacenamiento, la transmisión, la producción renovable y su complementariedad. Todo esto con el fin de mejorar la toma de decisiones privada y centralizada y compararse con la planificación tradicional. La forma de combinar todo esto fue finalmente el uso de la teoría moderna de portfolios.

Este proyecto no deja actividades pendientes para Enero y Febrero y todos los trabajos ya se han terminado.

**Anexo No. 3: Calor Solar**

**Anexo No. 3: Calor Solar**

**TITULO DE LA LINEA:**

Calor Solar

**NOMBRE DEL PROYECTO:**

FRAUNHOFER CHILE RESEARCH-(FCR)  
CENTRO DE TECNOLOGÍAS PARA ENERGÍA SOLAR (CSET)

**CÓDIGO DEL PROYECTO:**

13CEI2-21803

**NOMBRE DEL DIRECTOR DE PROYECTO:**

Dra. Mercedes Ibarra

## Tabla de Contenido

<b>1</b>	<b>EQUIPO DE TRABAJO.....</b>	<b>103</b>
<b>2</b>	<b>DESARROLLO DE SINERGIAS ENTRE LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>103</b>
<b>3</b>	<b>EQUIPAMIENTO E INFRAESTRUCTURA.....</b>	<b>105</b>
<b>4</b>	<b>ACTIVIDADES DE DIFUSIÓN .....</b>	<b>105</b>
4.1	Asistencia a eventos, cursos y pasantías .....	105
4.2	Reuniones/Contactos/Alianzas .....	108
4.3	Publicaciones científicas ISI y poster .....	108
<b>5</b>	<b>NUEVOS PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>109</b>
<b>6</b>	<b>PROYECTOS EN EJECUCIÓN (NO BASAL).....</b>	<b>109</b>
<b>7</b>	<b>DESCRIPCIÓN ACTIVIDADES .....</b>	<b>111</b>
	PROYECTO 1: Calor solar para procesos.....	111
	PROYECTO 2: Generación combinada a baja escala de calor, energía y/o frío:.....	118
	PROYECTO 3: Mediciones de eficiencia energética en la industria, comercio y agricultura ..	121
<b>8</b>	<b>DESCRIPCIÓN ACTIVIDADES DESARROLLADAS POR UC .....</b>	<b>128</b>

## Tabla de Figuras y Tablas

Figura 1: Mapa de los LCOH de Chile para el proceso de concentración para un el colector de mediana escala.....	112
Figura 2: Flow rate.....	114
Figura 3: Thermal Power of Solar Field .....	114
Figura 4: Efficiency of the collectors .....	114
Figura 5: Demanda de energía eléctrica por rubros pertenecientes a la industria manufacturera (izquierda). Demanda de energía eléctrica en MWh para el rubro de alimentos desagregado por región (derecha).....	119
Figura 6: Demanda de energía para refrigeración en MWh para los sub-rubros principales pertenecientes al rubro de alimentos desagregados por rangos de temperatura.....	120
Tabla 1: Consumo eléctrico para refrigeración para el sub-rubro lácteos con desagregación por tipo de producto y procesos principales .....	120
Figura 7: Ejemplo de resultados arrojados por la herramienta desarrollada para dos rubros: carne y frutas. ....	122
Figura 8: Interfaz de software Pinch para la re distribución de intercambiadores de calor.....	123
Figura 9: Esquema de revisión sobre machine learning para procesos solares térmicos (Fuente: elaboración propia).....	124
Figura 10: Sitio web de proyectos privados de Fraunhofer, proyecto Juconcentra (Fuente: <a href="http://190.153.185.34:8000/">http://190.153.185.34:8000/</a> ).....	125
Figura 11: Esquema integración de campo solar en el proceso de limpieza de cliente CIAL. Se ven además los sensores utilizados en las diferentes campañas de monitoreo (Fuente: elaboración propia).....	126
Figura 12: Ahorros económicos estimados gracias a sistema solar actual y sistema solar en condiciones óptimas (simulado) (Fuente: elaboración propia). ....	127
Figura 13: Esquema conceptual de los procesos térmicos de cliente Jucosol, se destacan las zonas donde se implementaron campañas de monitoreo (Fuente: elaboración propia). ....	127

## 1 Equipo de trabajo

Proyecto I+D	Nombre investigador (Apellido, Nombre)	Cargo/función que desempeña en la línea	Título académico
<i>Proyecto FCR-CSET Cod 13CEI2 21803</i>	Ibarra, Mercedes	Directora de Línea	PhD
<i>Proyecto FCR-CSET Cod 13CEI2 21803</i>	Crespo, Alicia	Investigador	MSC
<i>Proyecto FCR-CSET Cod 13CEI2 21803</i>	Cortes, Felipe	Investigador	MSC
<i>Proyecto FCR-CSET Cod 13CEI2 21803</i>	Muñoz, Ivan	Investigador	MSC
<i>Proyecto FCR-CSET Cod 13CEI2 21803</i>	Correa Jullian, Camila	Practicante	ENG (estudiante)
<i>Proyecto FCR-CSET Cod 13CEI2 21803</i>	Castillo Quezada, Pablo	Practicante	ENG (estudiante)
<i>Proyecto 13CEI2-21803 - UC</i>	Pineda, Fabiola	Investigador	PhD
<i>Proyecto 13CEI2-21803 - UC</i>	Recio, Francisco Javier	Investigador	PhD
<i>Proyecto 13CEI2-21803 - UC</i>	Walczak, Magdalena	Investigador	PhD
<i>Proyecto 13CEI2-21803 - UC</i>	Muñoz, Karina	Investigador	PhD
<i>Proyecto 13CEI2-21803 - UC</i>	Quiñones, Gonzalo	Investigador	MSC
<i>Proyecto 13CEI2-21803 - UC</i>	Salas, Eduardo	Investigador	ENG.
<i>Proyecto 13CEI2-21803 - UC</i>	Quevedo, Estefania	Investigador	ENG.
<i>Proyecto 13CEI2-21803 - UC</i>	Domic, Felipe	Investigador	ENG.

## 2 Desarrollo de sinergias entre líneas de investigación

Sinergia con	Descripción
<b>Electricidad solar</b>	<p>-El modelo de PTC desarrollado en Matlab (WP 1.2) puede ser utilizado tanto para simular procesos industriales que utilizan calor solar, así como para simular campos solares a gran escala para generación de potencia eléctrica (CSP). Es decir, sinergia con el área de investigación de Electricidad Solar.</p> <p>-Colaboración con el grupo de investigación de la UC del área de Electricidad Solar sobre almacenamiento térmico, principalmente para el desarrollo de simulaciones en Trnsys. A futuro se pretende mantener esta colaboración.</p>
<b>Tratamiento solar de agua</b>	<p>En este periodo no reportan sinergias con la línea de tratamiento de aguas.</p>
<b>Desarrollo de negocios</b>	<p>La línea de calor solar ha recibido apoyo de la línea de desarrollo de negocio en el desarrollo de herramientas que permitan la evaluación económica de integrar tecnologías solares térmicas en la industria, teniendo en cuenta el mercado energético de Chile.</p> <p>Otra sinergia se ha producido en el apoyo que la línea de calor solar ha dado en el desarrollo del proyecto público de Plataforma de Innovación Abierta (PIA) de Fundación Chile. La plataforma busca conectar a los proveedores de soluciones solares con la industria demandante. La participación de la línea tiene como objetivo apoyar desde el punto de vista técnico la incorporación de tecnología solar térmica al sector agro e identificar las oportunidades de integración. La participación de los ingenieros de calor solar tiene como objeto identificar aquellas industrias que tengan necesidad de calor industrial.</p> <p>La segunda sinergia desarrollada entre ambas áreas corresponde al proyecto privado de CIAL Alimentos, donde por un lado se estudia las proyecciones de tarifa eléctrica y por otro lado, el consumo de energía térmica en el proceso de lavado. Para dicho proyecto, se busca apoyar a la empresa privada en la toma de decisiones energéticas futuras desde un punto de vista global, que incluya las visiones eléctrica y térmica.</p>
<b>Otros centros o institutos nacionales</b>	<p>Liderados por la Universidad de Antofagasta, y junto con la UC y la Universidad de Chile, se ha realizado una postulación al programa de Bienes Públicos de CORFO con un proyecto denominado "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" y fue concedido.</p>
<b>Otros centros o institutos Internacionales</b>	<p>Se está realizando un trabajo relativo de ciclos Rankine Orgánicos en colaboración con la UNED y el CIEMAT-PSA, de España.</p>



<b>Fraunhofer Chile Research</b>	Las experiencias adquiridas en los últimos tres años por el grupo de calor solar de procesos en temas de monitoreo y adquisición y análisis de datos han resultado ser de utilidad en el proyecto FIC Agro-PV, en el que las áreas de Desarrollo de Negocio y CSB han colaborado para integrar energías solar fotovoltaicas en áreas de cultivos con un doble uso del suelo.
<b>Fraunhofer ISE</b>	Dr. Pedro Horta, líder del grupo de calor solar para procesos industriales, viajó a Santiago a finales de noviembre con objeto de coordinar el trabajo entre Fraunhofer CSET y Fraunhofer ISE y participó en el seminario de calor solar para la industria alimentaria que se realizó el 24 de noviembre de 2017. Además, existe una sinergia debido al proyecto de investigación (futura tesis doctoral) sobre integración de calor solar a procesos batch en la industria con almacenamiento térmico. Para el desarrollo de dicha investigación se mantiene un contacto con Fraunhofer ISE para compartir conocimientos sobre el tema.

### 3 Equipamiento e infraestructura

Nombre Equipo	Ubicación/laboratorio	Proyecto.
Software: TRNSYS 18	FCR-CSET (para desarrollo de estudios en industrias e investigación)	133-001: Comprado
Software: PolySun	FCR-CSET (para desarrollo de estudios en industrias e investigación)	133-001: software en proceso de compra
Software: Engineering Equation Solver (EES)	FCR-CSET (para desarrollo de estudios en industrias e investigación)	133-001: software en proceso de compra
Software: REFPROP	FCR-CSET (para desarrollo de estudios en industrias e investigación)	133-002: software en proceso de compra

### 4 Actividades de difusión

#### 4.1 Asistencia a eventos, cursos y pasantías

Evento/ Curso/ Pasantía	Lugar, Fecha	Asistentes	Descripción	Tipo
-------------------------------	--------------	------------	-------------	------

Curso de 4x4	Santiago de Chile, 25/07/2017	Alicia Crespo, Felipe Cortés, Iván Muñoz	Curso teórico-práctico en el que se aprendieron los conocimientos necesarios para realizar conducción en terrenos difíciles con vehículos 4x4.	Asistencia
Congreso Regional de la Energía	San Salvador, El Salvador, 23-25 de agosto de 2017	Mercedes Ibarra	Presentación de los avances y tecnologías de calor solar para procesos industriales	Ponencia en panel
Workshop: Prospects and Challenges of CSP	Universidad Técnica Federico Santa María, Santiago de Chile, 25 Septiembre 2017	Alicia Crespo	Workshop sobre las perspectivas y desafíos de los sistemas de concentración solar de potencia.	Asistencia
Curso sobre prevención de Riesgos eléctricos (ACHS)	13 de Octubre 2017	Alicia Crespo, Felipe Cortés, Iván Muñoz, Mercedes Ibarra	Curso teórico sobre la prevención de riesgos eléctricos para situaciones de riesgo en terreno	Asistencia
Seminario PV de Fraunhofer	Hotel W, Santiago de Chile; 24 de Octubre 2017	Alicia Crespo, Felipe Cortés, Iván Muñoz, Mercedes Ibarra	Seminario sobre el estado del arte de las tecnologías PV y sobre estudios de soiling en paneles monofaciales y bifaciales.	Asistencia
Curso en riesgos Psicosociales	Campus San Joaquín, Santiago de Chile; 10/11/2017	Alicia Crespo, Felipe Cortés, Iván Muñoz, Mercedes Ibarra	Curso teórico sobre riesgos psicosociales en las empresas	Asistencia

Curso sobre norma técnica de identificación y evaluación de factores Trastornos Musculoequeléticos	Campus San Joaquín, Santiago de Chile; 13/11/2017	Alicia Crespo, Felipe Cortés, Iván Muñoz, Mercedes Ibarra	Curso sobre Trastornos Musculoequeléticos para evitar su desarrollo en nuestra empresa	Asistencia
ELAN Network 2017	Campus San Joaquín, Santiago de Chile; 23/11/2017	Alicia Crespo, Felipe Cortes	Technologies and Business Models for the Energy Challenges of the 21st Century	Asistencia
Seminario AgroPV	Hotel Plaza El Bosque Ebro, Santiago. 23/11/2017	Alicia Crespo, Felipe Cortés, Iván Muñoz, Mercedes Ibarra	Seminario que trató sobre el proyecto de Agro-PV, el cual consiste en aprovechar el mismo terreno para generar electricidad mediante tecnología solar PV y a su vez plantar cultivo bajo los paneles PV.	Asistencia y presentación (Iván Muñoz)
Seminario Calor Solar en Industria Alimentaria.	Campus San Joaquín, Santiago. 24/11/2017	Alicia Crespo, Felipe Cortés, Iván Muñoz, Mercedes Ibarra	Seminario organizado por nosotros para darnos a conocer y mostrar los proyectos desarrollados en la Industria Alimentaria.	Asistencia, organización y presentación (Mercedes Ibarra)
Encuentro anual Centros e Institutos Tecnológicos CORFO	Santiago de Chile, 27 Noviembre 2017	Frank Dinter, Mercedes Ibarra	Presentación y conocimiento entre los distintos centros e institutos tecnológicos de CORFO.	Asistencia y ponencia (Frank Dinter)
Seminario UC-Fraunhofer	Campus San Joaquín, Santiago. 11/12/2017	Alicia Crespo, Felipe Cortés,	Presentación de resultados	Asistencia

		Iván Muñoz, Mercedes Ibarra		
Workshop “Metalurgia Solar: Desafío Industria Verde”	Santiago de Chile, 21 Diciembre 2017	Mercedes Ibarra	Presentación por parte de la UAI de estudios innovadores hacia la integración de tecnologías termosolares en la metalurgia Chilena.	Asistencia
Seminario Energías renovables en las edificaciones: Avances y desafíos futuros	Santiago de Chile, 11/01/2018	Alicia Crespo	Seminario sobre la utilización de energía solar térmica en edificios	Asistencia

#### 4.2 Reuniones/Contactos/Alianzas

Reunión	Lugar, Fecha	Descripción
Prof. Dr. Vladimir Chibizov, UC	Campus San Joaquín, Santiago. 01/12/2017	Discusión sobre posible postulación conjunta a fondos FONDEF Explicación teórica y demostración experimental del prototipo de laboratorio del proyecto TAPSOL
PES – solarpaces (Ana María Ruz)	8/12/2017	Coordinación de tareas de solarpaces.
Dr. Pedro Horta (Fraunhofer-ISE)	Santiago de Chile, 24-11-2017	Coordinación en temas de calor solar de procesos entre Fraunhofer ISE y Fraunhofer CSET
Reunión SERC2, RL4	Santiago de Chile, 4-01-2018	Coordinación de la Línea 4 (Energy storage) dentro del proyecto SERC2
Contacto con la UAI para posibles colaboraciones	(final de enero)	Posibles colaboraciones y/o proyectos conjuntos
Reuniones posibles proyectos		Posibles futuros proyectos: Collahuasi, Enerbosh, Abastible, Lipigas, Asfaltos Oil Malal

#### 5 Publicaciones científicas ISI y poster

No hay ninguna publicación científica nueva en este periodo.

## 6 Nuevos proyectos de investigación

Título del proyecto	Nombre del director	Estado
BBPP "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" código 17BPE3- 83761	Aitor Marzo (Universidad de Antofagasta) / En FCR-CSET: Mercedes Ibarra	Adjudicado

## 7 Proyectos en ejecución (no basal)

Proyecto uno	Nombre del director	Fecha de inicio	Fecha de término
<i>CIAL – Solar</i> <i>Fuente de financiamiento: privada</i>	Marco Vacarezza/ Mercedes Ibarra	Noviembre 2017	Enero 2018
<p><b>Descripción:</b> El proyecto de CIAL Alimentos corresponde a una sinergia entre las líneas de calor solar y desarrollo de negocios. La participación de la línea de calor solar tiene como objetivo el análisis del sistema de agua caliente para uso sanitario y limpieza. Dicho sistema cuenta con un estanque de agua caliente cuyo suministro de calor proviene de un campo solar y una caldera. Para el análisis se desarrolló una campaña de monitoreo durante tres semanas, para luego procesar la información. Finalmente se desarrollaron simulaciones computacionales para evaluar y comparar la información registrada con los datos simulados.</p> <p>Actualmente, el estudio se encuentra en una etapa final, donde ya se identificó la fracción solar del sistema, oportunidades de mejora y el potencial ahorro económico al desplazar el consumo de gas natural.</p>			
Proyecto dos	Nombre del director	Fecha de inicio	Fecha de término
Estudio de demanda de agua caliente sanitaria y potencial solar térmico en Campamento de Minera Doña Inés de Collahuasi. Fuente de financiamiento: privada	Mercedes Ibarra	Aún en consideración por parte de la empresa	Cinco (5) meses, después del inicio de contrato
<p><b>Descripción:</b> El proyecto privado de Collahuasi consiste en levantar información y monitorear el consumo térmico del Campamento Doña Inés de Collahuasi. Actualmente, el proyecto se encuentra en una etapa de reuniones y recopilación de información con el objetivo de planificar las visitas de</p>			

monitoreo en el campamento. El monitoreo permitirá realizar perfiles de consumo, aproximaciones de consumo térmico y finalmente estimar la demanda de agua caliente y calefacción presente en el Campamento. El estudio busca reducir el consumo de combustibles fósiles, identificar oportunidades de eficiencia energética y evaluar potenciales alternativas solares para el suministro energético.

Proyecto tres	Nombre del director	Fecha de inicio	Fecha de término
Juconcentra Fuente de financiamiento: Jucosol y Camchal	Mercedes Ibarra	01-10-2017	31-01-2018

**Descripción:**

El proyecto busca aumentar la eficiencia del consumo de energía térmica para los procesos de la empresa de concentrados de uva Jucosol S.A.

Para el desarrollo del proyecto se monitorearon los procesos térmicos más relevantes de la planta de Jucosol. Posteriormente se realizaron simulaciones computacionales para optimizar la integración del calor captado por su sistema solar de concentración en los procesos de la empresa. Además, se utilizaron técnicas de eficiencia energética en las redes de distribución de calor de los procesos para recuperar el calor liberado por ciertos procesos en otros que necesitan calor. Todas las soluciones generadas se analizaron desde un punto de vista técnico y económico para categorizarlas por rentabilidad.

Proyecto cuatro	Nombre del director	Fecha de inicio	Fecha de término
BBPP 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 Fuente de financiamiento: CORFO	Aitor Marzo (Universidad de Antofagasta) / Mercedes Ibarra (FCR-CSET)	24-11-2017	24-11-2019

**Descripción** El objetivo general de la presente propuesta es la generación del primer mapa de estimación de los valores atenuación atmosférica entre helióstato y receptor en centrales solares termoeléctricas de receptor de torre central para el norte de Chile.

La estimación de los valores de atenuación atmosférica es especialmente relevantes para el diseño y el funcionamiento de centrales solares termoeléctricas de receptor de torre. Cuanta más atenuación atmosférica, más energía se pierde entre el heliostato y el receptor de torre, limitando en la práctica la distancia máxima a la que conviene colocar los primeros. Además, es de prever que conocer estos valores proporcionará un incentivo para el desarrollo de la energía solar termoeléctrica en Chile

La dirección del proyecto corresponde a la Universidad de Antofagasta y CSET actúa como co-ejecutor.

Proyecto Cinco	Nombre del director	Fecha de inicio	Fecha de término
DILIGENCIA TECNICA DE UNA COMPAÑÍA DE FABRICACION DE COLECTORES SOLARES MEXICANA	Mercedes Ibarra (CSET)	19-01-2018	19-03-2018

Fuente de financiamiento: PRIVADO			
<p><b>Descripción</b> Laborelec Chile contactó con FCR-CSET para subcontratar una diligencia técnica de una compañía mexicana que fabrica cilindro-parabólicos de pequeña apertura para aplicaciones de media temperatura. Los trabajos que se incluyen en el proyecto son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Análisis del status quo de la compañía y tecnología que se inspeccionará</li> <li>- Visita en terreno (en Mexico) a realizar en la primera quincena de febrero del 2018</li> <li>- Análisis de los datos y elaboración del informe</li> </ul>			

## 8 Descripción actividades

### PROYECTO 1: Calor solar para procesos

#### WP 1.1 Estudio de potencial de calor solar para procesos en la industria chilena

**Avance Real 110%**

#### **Descripción:**

En Chile, gran parte de la demanda de calor en la industria alimentaria es en forma de vapor, en procesos de cocinado, pasteurización o concentración y que además utiliza el vapor como vector de distribución del calor. Por tanto, cubrir estas necesidades energéticas con energía solar es de gran relevancia. Como ya se mencionó en el informe de continuidad anterior, se ha desarrollado una herramienta que permite evaluar los costos nivelados de energía térmica para la generación de vapor (LCOH) a través de tecnologías de concentración solar. Dicha herramienta es de carácter flexible y fue utilizada para evaluar el potencial de cubrir las demandas de los procesos de concentración y cocción con generación de vapor solar y comparar dicha generación con el suministro convencional a través de combustibles fósiles.

Uno de los resultados relevantes obtenidos correspondió a los LCOH para la generación de vapor solar para el proceso de concentración, a través de un mapa georreferenciado (ver figura 1) El mapa permitió determinar los costos asociados para las localidades del país, los cuales presentan un gran potencial. A modo de ejemplo, si consideramos la región de Valparaíso y Metropolitana, que representan el 40% de la industria de alimentos, el LCOH es inferior a 33 US\$/kWh. Adicionalmente, en zonas al sur del país como Bio-Bio presentan un LCOH de 36 US\$/kWh, lo cual es inferior al costo de combustible fósil. No obstante, cabe considerar que la biomasa en el sector del sur es bastante económica lo que genera problemas para la integración solar.

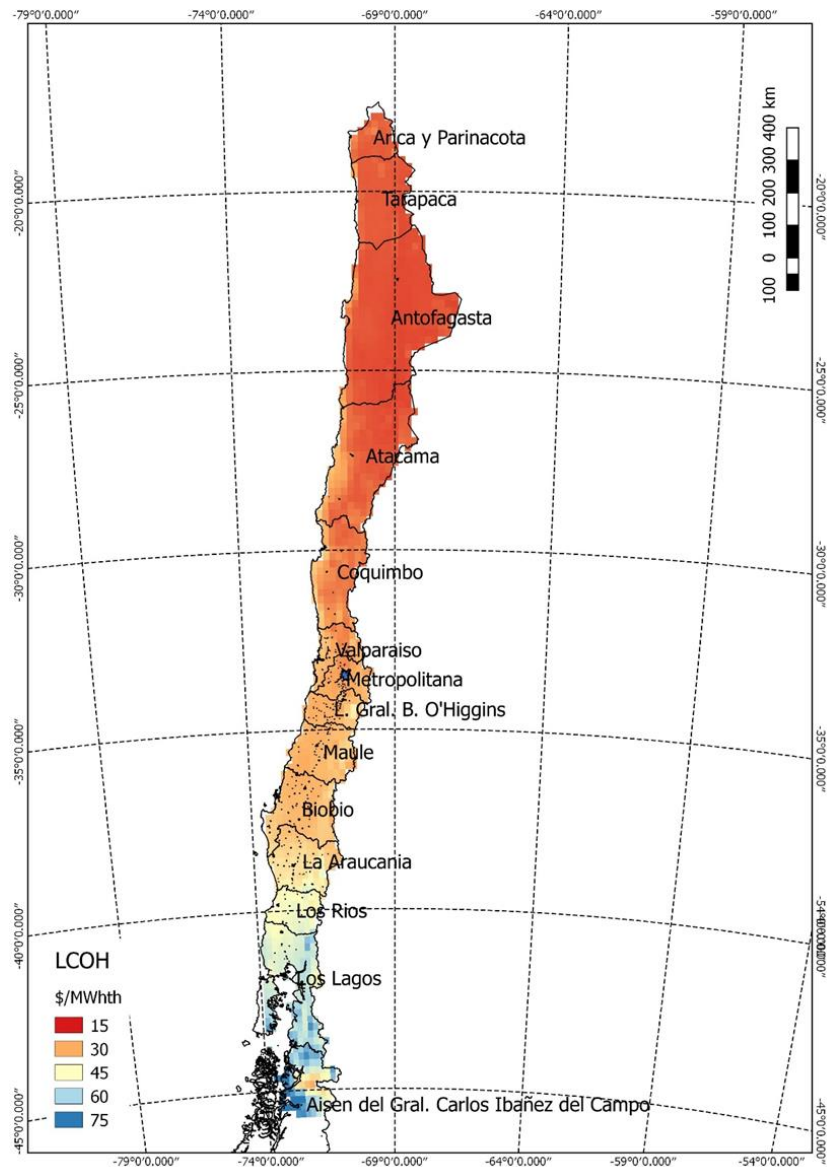


Figura 1: Mapa de los LCOH de Chile para el proceso de concentración para un el colector de mediana escala.

En el futuro se pretende seguir apuntando a la generación de vapor solar desde dos perspectivas. La primera, el estudio de la generación directa de vapor mediante calor solar, que eliminar la necesidad de intercambiadores de calor. El estudio de esta aplicación está en etapa experimental/demostrativa en varios lugares del mundo, por lo que existen numerosos aspectos a optimizar. La creación de modelos de colectores que permitan estos análisis sería de utilidad para su mejor estudio.

Por otro lado, la información geográfica recopilada para la generación de vapor (con intercambiador de calor) ha de utilizarse en el desarrollo de futuros proyectos en Chile (i.e. Desarrollo de negocio). Esta



información puede cruzarse con información de costos de combustible actuales de las industrias para localizar a potenciales interesados nacionales.

### **WP 1.2 Estudio de tecnologías: colectores solares, intercambiadores de calor**

**Avance Real 100%**

#### **Descripción:**

Conforme lo mencionado en el informe 4 de avance, se finalizó el estudio de intercambiadores de calor. El estudio posee un enfoque relacionado a las instalaciones solares térmicas. Dentro de sus contenidos se encuentra: tipos de intercambiadores de calor, métodos de dimensionamiento, recomendaciones de selección, costos y mercado nacional.

Una de las secciones relevantes corresponde a los tipos de intercambiadores de calor utilizados de acuerdo al propósito de la instalación solar, ya sea generación de agua caliente o vapor. La sección presenta las tecnologías comúnmente utilizadas para cada caso y los beneficios que conlleva cada tecnología.

Otra de las informaciones relevantes recogidas en este estudio son los costos, ya que los intercambiadores de calor son uno de los elementos más críticos en los costes de inversión de proyectos de integración de energía solar térmica en procesos industriales. La elaboración de este informe permitirá que la evaluación económica de futuros proyectos, contenga una información precisa y actualizada.

Además, se espera que el documento sirva como guía preliminar para las empresas que estén interesadas en instalaciones solares térmicas ya sea para la generación de agua caliente o vapor. El próximo paso en este tema es la identificación y el estudio de tecnologías de intercambio de calor novedosas (i.e. HEX supercríticos, HEX de plástico, entre otros.)

Adicionalmente a la redacción del informe sobre el estado del arte en tecnologías de intercambio de calor, se ha realizado avances respecto a colectores solares. Se ha desarrollado un modelo en Matlab sobre una planta de concentración de potencia (CSP) formada por colectores cilindro parabólico y un bloque de potencia.

La creación de este modelo responde a la necesidad de incluir en cálculos y simulación condiciones no contempladas en softwares populares como SAM. Por ejemplo, uso de materiales o fluidos de trabajo alternativos, esquemas de trabajo no convencionales o controles de caudal/temperatura novedosos.

El modelo del colector cilindro-parabólico puede ser utilizado tanto para simular plantas solares a gran escala para la generación de energía eléctrica (línea de investigación: Solar Electricity), como para simular el potencial de generación de una planta más pequeña o incluso de un par de colectores para aplicaciones industriales a pequeña escala (línea de investigación: Solar Heat).

También se ha realizado una validación de los resultados comparando los resultados anuales de flujo, generación térmica y eficiencia proporcionados por el modelo de Matlab y los resultados proporcionados por el software System Advisor Model (SAM), bajo las mismas condiciones.

Como se muestra en las figuras 2-4, para el flujo se presentan para el modelo de Matlab resultados totalmente ajustados a los valores de SAM a partir de flujos mayores a 1000 kg/s. También para la potencia térmica se han obtenido buenos resultados para valores por encima de 350 MWt. Respecto a la eficiencia del colector, los resultados en varios puntos no son coincidentes con los de SAM. En este aspecto hace falta seguir estudiando el motivo de esta desviación, aunque se cree que es debido a la diferencia de parámetros utilizados para el cálculo del bloque de potencia.

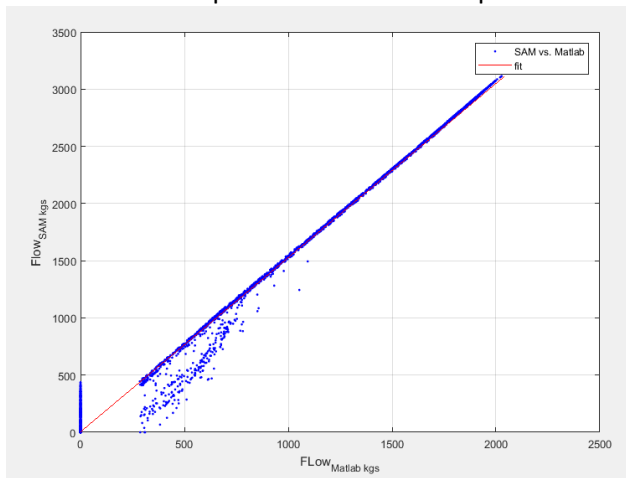


Figura 2: Flow rate

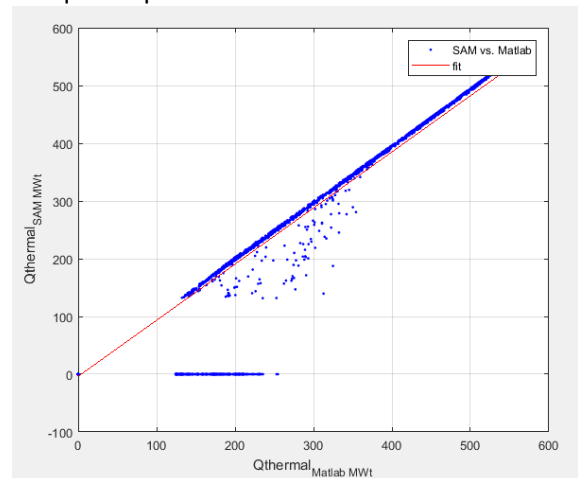


Figura 3: Thermal Power of Solar Field

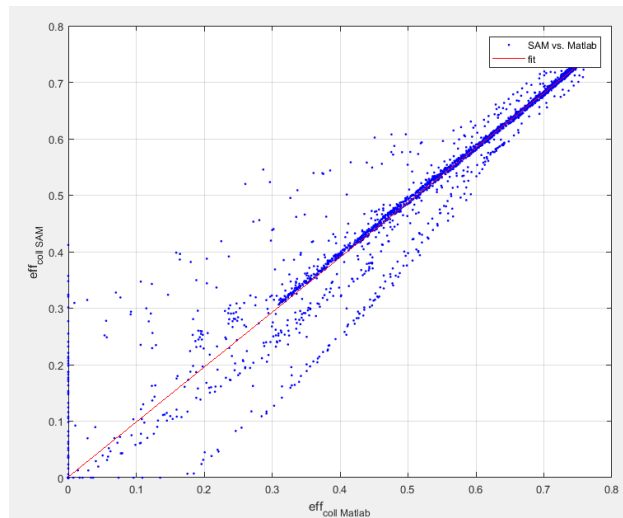


Figura 4: Efficiency of the collectors

Este modelo nos permitirá seguir trabajando en la tecnología de cilindro-parabólicos, en temas como estudios teóricos de fluidos de trabajo alternativos (generación directa de vapor; nanofluidos, sales fundidas), simulaciones de plantas con configuraciones no convencionales (cogeneración, ciclos alternativos brayton/sCO<sub>2</sub>), optimización de configuraciones de ciclos de potencia, optimización de mantenimiento (ie. Soiling cleaning), etc.

### **WP 1.3 Análisis de integración con almacenamiento térmico:**

**Avance Real 90%**

#### **Descripción:**

En este *work package* se ha avanzado en tres tareas interrelacionadas, pero distintas.

- Primero, se ha realizado una revisión sobre materiales de almacenamiento térmico latente o PCM para aplicaciones de calor de procesos a medias altas temperaturas (120-400°C). Los PCM presentan varias ventajas frente a los materiales de almacenamiento sensible. Los PCM permiten almacenar calor de forma isotérmica, lo cual es ventajoso para ciertos procesos industriales y tienen mayor densidad energética que los de tipo sensible, lo que permite reducir el volumen del almacenamiento. Este estudio ha sido enviado en Octubre a la revista científica Solar Energy para un número especial sobre almacenamiento Térmico y actualmente está bajo revisión.

El estudio incluye una revisión de los potenciales materiales de cambio de fase para aplicaciones de calor de proceso en un rango de temperatura de 120 a 400°C. Se incluyó también una revisión de las diferentes metodologías de integración de TES en los procesos industriales. Además, se presentaron sistemas experimentales con PCM, técnicas de mejora de los conceptos de diseño de los sistemas de almacenamiento térmico latente y una revisión de los modelos numéricos de sistemas con PCM existentes hasta el momento. En el estudio se identificaron más de 100 potenciales PCM. Composiciones eutécticas inorgánicas son el grupo con mayor potencial para la aplicación estudiada, con valor de calor de fusión de entre 74 y 535 kJ/kg. Hasta ahora muy pocos PCM se han probado en aplicaciones de calor solar de proceso. Más experimentos o plantas piloto son necesarios para estudiar la integración de los PCM en procesos industriales y poder evaluar su comportamiento de carga y descarga y frente a condiciones reales de operación. Las metodologías de integración del almacenamiento térmico son clave para el éxito técnico-económico del almacenamiento térmico en la industria, especialmente en procesos batch.

- Adicionalmente, se sigue trabajando en el desarrollo de una metodología para integrar los sistemas de almacenamiento térmico y la energía solar en procesos industriales, concretamente en procesos discontinuos. Dentro de este proyecto, durante los últimos meses de trabajo se ha realizado una revisión del estado del arte de las metodologías de integración de calor solar y almacenamiento térmico en procesos industriales discontinuos. De dicha revisión se ha observado que en los últimos años varios estudios en dicho campo han sido presentados. La mayoría de metodologías de integración se basan en el Pinch Analysis, aunque

también hay publicaciones basadas en Mixed-integer Non-Linear Programming (MINLP). Diferentes enfoques han sido estudiados: metodologías de integración de calor solar con y sin almacenamiento, sin integración de calor solar pero con almacenamiento térmico y con integración de calor directa, indirecta o mixta. La mayoría de ellas no consideran el estado transitorio de los procesos batch o no continuos. Esta revisión sirve para conocer el estado de arte sobre las metodologías de integración de calor solar a procesos industriales con almacenamiento térmico y poder ir enfocando nuestra investigación resultados exitosos y novedosos. Basándonos en dicha revisión, el siguiente paso consiste en caracterizar para qué procesos industriales y con qué tipo de almacenamiento térmico vamos a desarrollar la metodología.

- Por último, parte de nuestro plan de trabajo en este WP 1.3 consistía en hacer simulaciones de procesos industriales con almacenamiento térmico a medias y altas temperaturas comparándolos con datos experimentales. Este trabajo se ha realizado, pero para bajas temperaturas (<100°C). El medio de almacenamiento utilizado en estas simulaciones ha sido agua. Una vez finalizadas tales simulaciones se simularán otras tecnologías, como por ejemplo un sistema de almacenamiento con materiales de cambio de fase (PCM). Para dichas simulaciones, se utilizará el software Trnsys 2018. Para simulaciones de los almacenamientos térmicos para el desarrollo de la metodología de integración se usarán softwares como Equation Engineering Solver y/o Matlab.

#### **WP 1.4 Consulting with industry**

**Avance Real 100%**

##### **Descripción:**

Nuestro equipo de trabajo ha realizado varios intentos para aproximarse a la industria, sin resultados exitosos en este periodo. Nuestra principal aproximación con la industria se produjo en un seminario organizado por FCR y UC de manera conjunta, en el campus de San Joaquín de la UC sobre la Energía Solar en la Industria Alimentaria.

El seminario contó con la participación del Dr. Pedro Horta, que presentó las experiencias de Fraunhofer ISE en proyectos de calor solar y los resultados de sus últimos proyectos. En particular destacó los resultados del proyecto TrustEE que se centraba en los retos de financiación de este tipo de proyectos. Otro de los ponentes fue el Dr. Prof. Frank Dinter, Director Estratégico de FCR, pero que en esta ocasión presentó su experiencia en la Universidad de Stellenbosch para la instalación de una planta solar en una industria cervecera. La Dra. Mercedes Ibarra, directora de línea de Calor Solar, presentó nuestro estudio de potencial de generación de vapor con energía solar en Chile (correspondiente al WP 1.1) el cual suscitó gran interés por parte de la industria presente en la sala y ha generado contactos y discusiones posteriores con varias industrias. El Dr. Prof. Rodrigo Escobar presentó un resumen de las experiencias en Chile con calor solar de procesos, y, en particular, el proyecto Miguel Torres. Por último, Iris Wunderlich, en representación de la Cámara de Comercio Chileno Alemana (CAMCHAL), presentó las experiencias de este organismo en el proyecto Smart Energy Concepts, cuyo objetivo es la reducción de emisiones CO2 en la agroindustria a través de la eficiencia

energética, y presentando el instrumento de financiación para estudios de factibilidad que tiene la CAMCHAL a disposición de estas empresas.

Dicho Seminario fue muy exitoso, contó con un nivel de asistencia de 70 personas tanto de la academia como de la industria, unidas en un mismo espacio.



Imagen 1: Frank Dinter, futuro director de FCR CSET, haciendo una presentación sobre energía solar térmica en la industria sudafricana.



Imagen 2: Audiencia del seminario

**PROYECTO 2: Generación combinada a baja escala de calor, energía y/o frío:****WP 2.1 Estudio de potencial de cogeneración y refrigeración solar:****Avance Real 100%****Descripción:**

Para el análisis de los recursos utilizados por la industria nacional por conceptos de refrigeración se desarrolló una herramienta (en coordinación con el WP 3.1) que permite procesar la información entregada por la Encuesta Nacional Industrial Anual (ENIA) relativa al consumo energético de la industria manufacturera (Sección C, CIU Rev. 4), complementada por fuentes adicionales generales como el Balance de Energía Nacional (BNE) y específicas a cada rubro analizado posteriormente (ej.: Oficina de Estudios Agrarios, ODEPA). La herramienta permite identificar cuáles son los rubros y subrubros que demandan mayor energía para refrigeración y el costo que representa, permitiendo además desagregar dicha demanda por región, procesos productivos, niveles de temperatura y consumo energético.

El uso de la herramienta permitió identificar las industrias láctea, cárnica y frutícola como las de mayor demanda de refrigeración a nivel nacional y por tanto se decidió continuar el estudio de integración de tecnologías solares en estas dos industrias en específico.

Posteriormente se definieron qué sistemas de refrigeración accionados por energía solar son los más apropiados para satisfacer los requerimientos de los procesos antes identificados (para ello se utilizó el informe de tecnologías de refrigeración solar generado anteriormente por Fraunhofer). A continuación se realizaron simulaciones en los softwares Trnsys y Polysun para evaluar los esquemas de integración de la energía solar a dichos procesos, además de estimar los ahorros (energéticos y económicos) que podrían potencialmente ser generados por la integración de energía solar para refrigeración en la industria nacional.

El uso de la herramienta permitió identificar los rubros de madera y alimentos como los de mayor demanda de refrigeración a nivel nacional (ver Figura , izquierda). Dado que la demanda de refrigeración para el rubro de maderas se concentra en la zona sur del país se decide continuar el estudio para el rubro de alimentos, el cual concentra su demanda en la zona central del país (ver Figura , derecha), y por tanto presenta mayor potencial para integrar sistemas de refrigeración accionados por energía solar.

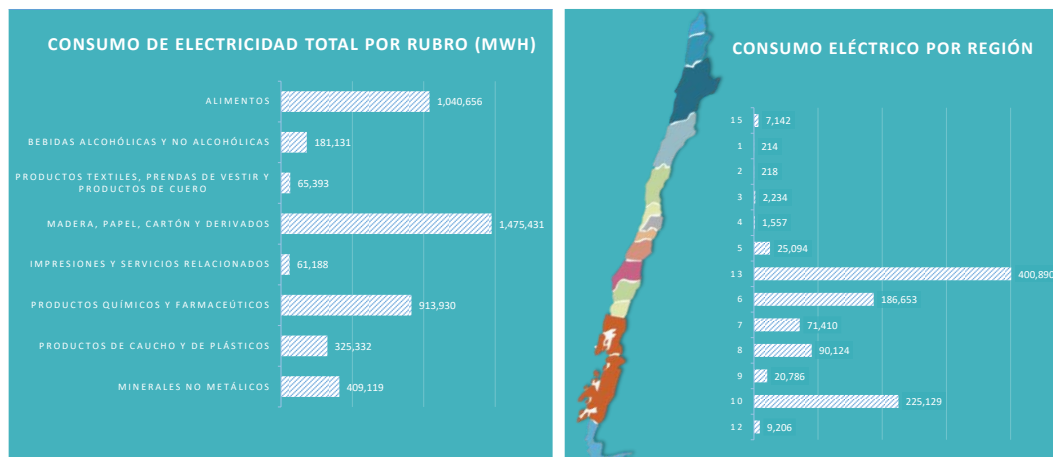


Figura 5: Demanda de energía eléctrica por rubros pertenecientes a la industria manufacturera (izquierda). Demanda de energía eléctrica en MWh para el rubro de alimentos desagregado por región (derecha).

Posteriormente se realizó un estudio al rubro de alimentos, desagregando la demanda total para refrigeración por procesos principales por rango de temperaturas ( $< 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $0 - 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $20 - 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) y por región. Los principales procesos identificados se resumen en almacenamiento de materia prima y productos elaborados, enfriamiento de tratamientos térmicos utilizados (fermentación, pasteurización), refrigeración de productos intermedios o elaborados, y otros procesos particulares a sub-rubros específicos (ej.: Carbonatación de bebidas gaseosas).

La Figura 6 presenta la demanda de energía para refrigeración para los sub-rubros principales pertenecientes al rubro de alimentos desagregados por rangos de temperatura. Se decidió continuar el estudio de potencial considerando el sub-rubro de lácteos debido a que posee una mayor demanda en el rango de temperaturas de  $0$  a  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Este rango de temperatura es de interés debido a que actualmente existe una mayor disponibilidad comercial de tecnologías de refrigeración solar que

abarcan ese rango de temperaturas<sup>4</sup>. Adicionalmente, es posible suplir la energía requerida para operar estas tecnologías por medio de la radiación solar presente en la zona geográfica donde se encuentra gran parte de la elaboración de productos lácteos a nivel nacional (Región Metropolitana).

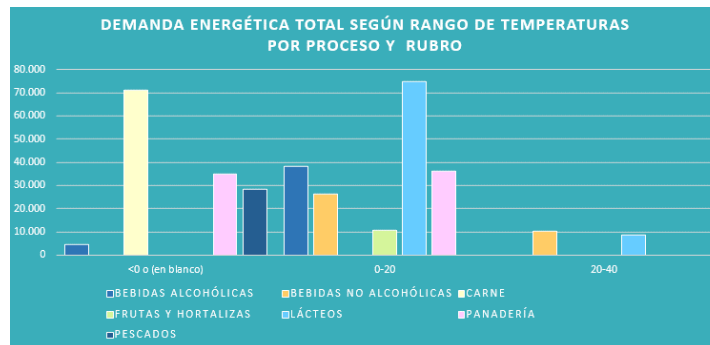


Figura 6: Demanda de energía para refrigeración en MWh para los sub-rubros principales pertenecientes al rubro de alimentos desagregados por rangos de temperatura.

Para el sub-rubro de lácteos se realizó un análisis de los diferentes productos principales relacionados al sub-rubro. La Tabla 1 muestra el consumo eléctrico total a nivel anual para la manufacturación de los productos leche, yogurt y queso, la demanda para refrigeración total y desagregada por procesos principales y el potencial económico a desplazar gracias a la posible integración de refrigeración solar en este sub-rubro. Se estima un potencial de CLP \$MM 9570 para el sub-rubro de lácteos en base al gasto en electricidad para suplir por medios convencionales estos procesos de refrigeración.

Consumo	Leche	Yoghurt	Queso	Total
Elctrico (MWh)	30,163	6,265	44,780	81,208
Refrigeracion (MWh)	37,101	7,705	55,080	99,886
Gasto (CLP \$MM)	\$ 3,555	\$ 738	\$ 5,277	\$ 9,570
<b>Refrigeración estimada</b>				
<i>Procesos, %</i>				
Almacenar	14%	21%	-	35%
Pasteurizar	37%	-	-	37%
Enfriar	-	12%	16%	28%
<i>Procesos, MWh</i>				
Almacenar	11,369	17,054	-	28,423
Pasteurizar	30,047	-	-	30,047
Enfriar	-	9,745	12,993	22,738
Procesos, MWh total	41,416	26,799	12,993	81,208
Procesos, MWh %	51%	33%	16%	100%
<b>Gasto (CLP \$MM)</b>	<b>\$ 4,881</b>	<b>\$ 3,158</b>	<b>\$ 1,531</b>	<b>\$ 9,570</b>

Tabla 1: Consumo eléctrico para refrigeración para el sub-rubro lácteos con desagregación por tipo de producto y procesos principales

<sup>4</sup> Dincer, I., & Ratlamwala, T. A. H. (2016). Integrated Absorption Refrigeration Systems: Comparative Energy and Exergy Analyses. Springer; Herold, K. E., Radermacher, R., & Klein, S. A. (2016). Absorption chillers and heat pumps. CRC press; Wang, R., & Ge, T. (Eds.). (2016). Advances in Solar Heating and Cooling. Woodhead Publishing



El siguiente paso será el desarrollo de un caso de estudio de integración de refrigeración solar en una fábrica de leche. Para ello se realizarán simulaciones en el software Trnsys 18 evaluando diferentes esquemas de integración de la energía solar a los procesos de refrigeración, además de estimar los ahorros (energéticos y económicos) que podrían potencialmente ser generados.

Otra área tratada en este WP es la simulación de ciclos Rankine orgánicos. En este periodo se ha modelado un ORC con dos expansores y se han analizado diversos parámetros de entrada y su efecto en el comportamiento fuera de diseño. Este trabajo ha terminado en una publicación que se envió a revista en diciembre y está en proceso de revisión por esta.

### **WP 2.2 Estudio de tecnologías en refrigeradores accionados térmicamente**

**Avance Real 100%**

**Descripción:**

En este periodo no se han realizado avances significativos, ya que en el anterior se terminó un informe de repaso de chillers. Además, en UC se están desarrollando códigos de TRNSYS para futuras simulaciones de sistemas de frío solar.

### **WP 2.3 Análisis de esquemas de integración**

**Avance Real 90%**

**Descripción:**

En este periodo los avances más significativos se han dado en paralelo a los temas integrados en el WP 1.3, por lo que para más información se ruega leer esta sección.

### **WP 2.4 Estudios de factibilidad**

**Avance Real 110%**

**Descripción:**

En este periodo no se han realizado avances significativos, y es el co-ejecutor UC el que se ha responsabilizado de estos estudios (UCE6, UCE8).

## **PROYECTO 3: Mediciones de eficiencia energética en la industria, comercio y agricultura**

### **WP 3.1 Evaluación de los recursos utilizados por la industria**

**Avance Real 110%**

**Descripción:**

Para analizar el uso de recursos en la industria de una manera global, un alumno en práctica desarrolló una herramienta que permitirá evaluar en consumo energético en las industrias. Dicha herramienta se desarrollará a partir de la Encuesta Nacional Industrial Anual (ENIA), la cual presenta las fuentes de energía utilizada por las diferentes industrias a nivel nacional. El procesamiento de la información permitirá caracterizar el consumo en criterios como: región, rubro, tipo de combustible y costo. La herramienta tiene como objetivo apoyar el desarrollo de la industrial solar a través de la identificación de industrias con mayor potencial en términos de consumo y costo en energía. Posteriormente, de acuerdo a la información analizada se realizará un análisis detallado a rubros con mayor potencial para identificar los procesos en los que realmente es factible tecno-económicamente la integración de tecnologías solares térmicas.

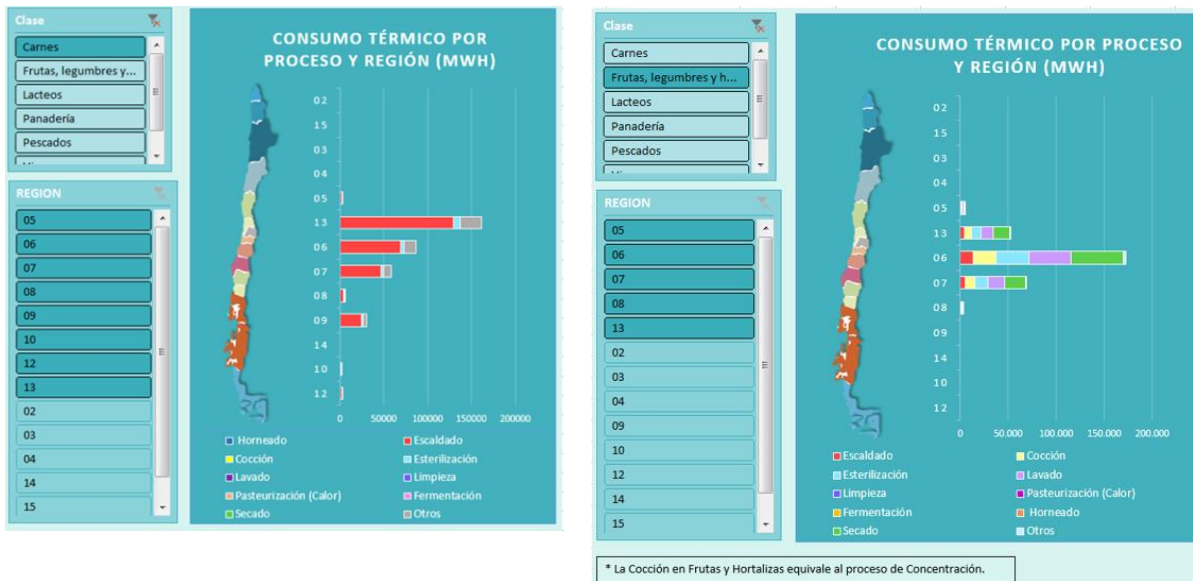


Figura 7: Ejemplo de resultados arrojados por la herramienta desarrollada para dos rubros: carne y frutas.

Esta herramienta ya ha demostrado su utilidad en el marco del proyecto de Plataforma de Innovación Abierta de Fundación Chile.

Un factor relevante en la industria corresponde al uso eficiente de sus recursos energéticos, es por ello que se adquirió un nuevo software llamado *Pinch*. El software permite la optimización de redes de intercambiadores de calor a través de la recuperación de calor, lo que conlleva a una reducción de inversión y consumo energético. A modo de ejemplo, en un proyecto privado se han logrado identificar oportunidades de re utilización de calor residual y re distribución de sus intercambiadores de calor, logrando reducir su consumo energético.

El uso del software de Pinch puede suponer un gran beneficio para las empresas nacionales que presentan altos consumos energéticos ya que permitirá ahorrar y reducir el consumo de combustibles fósiles. Esto se realizará a través de medidas, las cuales no requieren grandes inversiones y presentan una mínima intervención dependiendo del caso.

Además, para el futuro, uno de los objetivos de FCR-CSET es la integración de estas metodologías con sistemas solares y con sistemas de almacenamiento sensibles y latentes.

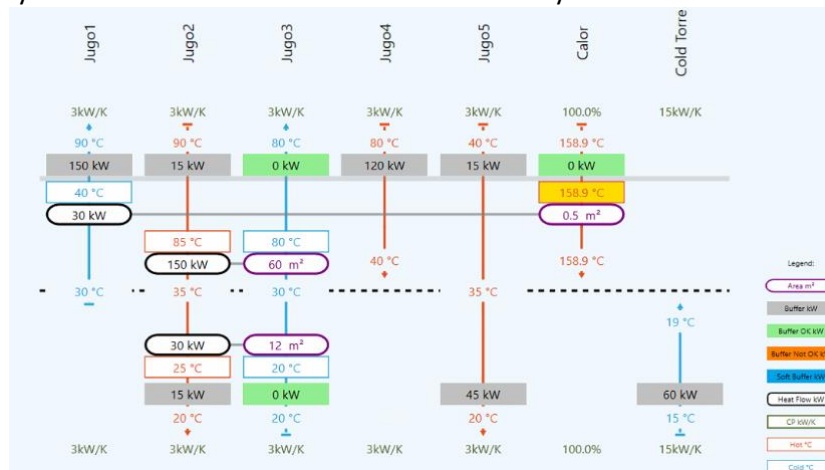


Figura 8: Interfaz de software Pinch para la re distribución de intercambiadores de calor.

### WP 3.2 Optimización de estrategias de control para integración a procesos

**Avance Real 70%**

#### **Descripción:**

En este periodo se sigue trabajando para integrar algoritmos de aprendizaje automático (*machine learning*) en la optimización de tecnologías solares térmicas. En el reporte anterior se mencionó el trabajo en conjunto con una universidad nacional para monitorear su sistema solar térmico y realizar una investigación a partir de los datos reales de dicha planta. Sin embargo, las campañas de monitoreo detectaron que el sistema de control de dicha planta está implementado de forma incorrecta y por tanto no activa las bombas cuando es necesario. Por tanto, la investigación con datos reales se quedó en *stand-by* y se prosiguió con un estudio teórico profundo de sistemas de *machine learning* para sistemas térmicos a un nivel general.

La siguiente figura presenta un esquema de la metodología utilizada para el estudio de técnicas de aprendizaje automático en la industria solar térmica. Se comienza por un entendimiento de los tres grandes apartados que comprenden el análisis científico de datos (*data science*) donde, en la intersección entre técnicas computacionales (*Computer science*) y técnicas de matemáticas y estadísticas (*Math and Statistics*) aparece el grupo de las denominadas técnicas de aprendizaje automático o *machine learning*.

El estudio continúa con una revisión de los cuatro grandes grupos de modelos de aprendizaje automático (*supervised, unsupervised, semi-supervised* y *reinforcement learning*) describiendo algoritmos en cada uno de estos grupos.

A continuación se realizó una revisión bibliográfica de las publicaciones relacionadas a energía solar térmica integradas a procesos industriales con la ayuda de técnicas de aprendizaje automático. Dicha revisión se acotó a artículos escritos dentro de los últimos 10 años (periodo 2008-2017, ambos incluidos). En dicha revisión se categorizaron las aplicaciones en cinco grupos: *Forecasting, Models for solar thermal plants components, Fault detection methods, Advanced control systems* y *Optimization*. Finalmente se discuten posibles aplicaciones de los modelos y publicaciones estudiadas en la industria nacional.

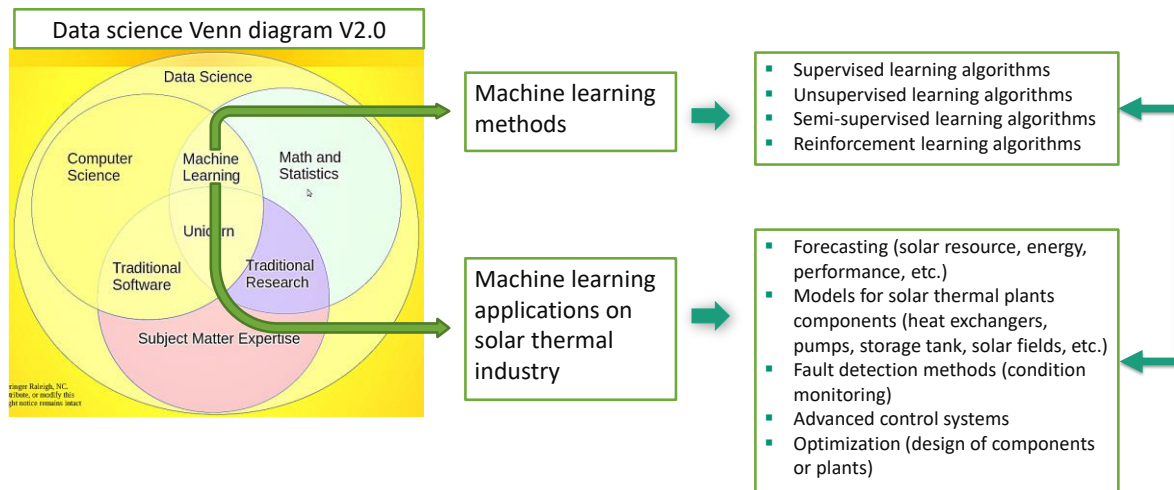


Figura 9: Esquema de revisión sobre machine learning para procesos solares térmicos (Fuente: elaboración propia).

### WP 3.3 Monitoring

Avance Real 120%

#### Descripción:

Se continuó desarrollando la plataforma web para mostrar los resultados de los diferentes proyectos desarrollados por el área. Como pasos futuros se espera comprar un dominio para alojar la plataforma web definitiva en conjunto con realizar mejoras constantes en términos de seguridad y visualización de los datos. Para la siguiente fase se espera que los sistemas de monitoreo implementados en los diferentes proyectos desarrollados por el área se comuniquen de forma on-line con esta plataforma web y así los datos medidos estén accesibles al instante dentro de la plataforma.

A modo de ejemplo de cómo los recursos invertidos mejoran los servicios ofrecidos por FCR, en este periodo se utilizó la plataforma para que nuestro cliente Jucosol S.A. pueda ver los avances del proyecto “Juconcentra” a través de un enlace externo provisorio a través de una ip pública (<http://190.153.185.34:8000/>), en esta dirección el cliente -utilizando su usuario y contraseña- puede acceder a los contenidos de su proyecto donde puede encontrar información sobre la formulación del proyecto, planificación, resultados principales y reportes.

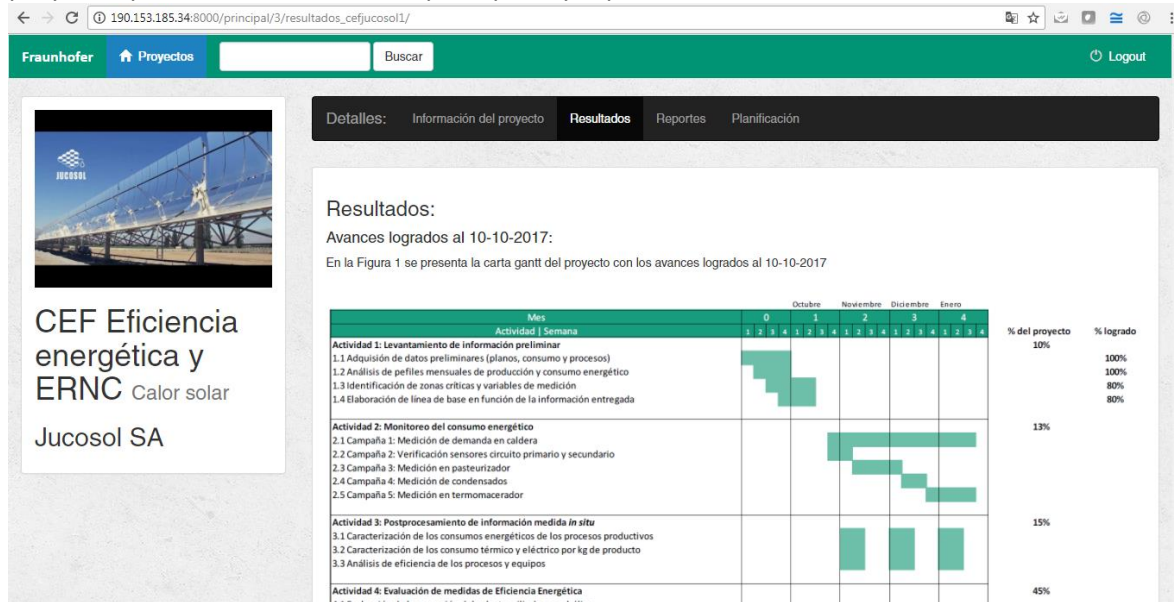


Figura 10: Sitio web de proyectos privados de Fraunhofer, proyecto Juconcentra (Fuente: <http://190.153.185.34:8000/>).

Por otro lado se desarrolló una plataforma gemela para uso en proyectos públicos. Este trabajo se realizó en conjunto con el área de electricidad solar y desarrollo de negocios para mostrar principalmente los resultados del proyecto AgroPV, el cual permitió generar sinergias en 3 de las 4 áreas del centro. La plataforma web se hará oficial una vez se adquieran los dominios correspondientes.

De acuerdo con lo comprometido en el reporte anterior, se realizó un informe de procedimientos de monitoreo con información relativa a instrumentos de medición (sensores y actuadores), sistemas de adquisición y transmisión de datos, almacenamiento, procesamiento y visualización de datos. El objetivo de este informe es asegurar que las medidas y adquisición de datos en CSET se hacen por encima de los estándares.

### WP 3.4 Consultoría con la industria

**Avance Real 100%**

**Descripción:**

En este periodo se trabajó en dos proyectos privados financiados por industrias nacionales las cuales poseen sistemas solares térmicos integrados a sus procesos.

El primer proyecto desarrollado para el cliente CIAL Alimentos corresponde a una sinergia entre las líneas de calor solar y desarrollo de negocios, la cual analizó las posibilidades a futuro de integrar sistemas solares fotovoltaicos en su planta. La participación de la línea de calor solar tiene como objetivo el análisis del sistema de agua caliente para uso sanitario y limpieza. Dicho sistema cuenta con un estanque de agua caliente cuyo suministro de calor proviene de un campo solar y una caldera. Para el análisis se procesó la información proporcionada por una campaña de monitoreo implementada durante tres semanas; ver en figura adjunta un esquema de la integración del sistema solar al proceso de limpieza en conjunto con los sensores instalados para monitorear el funcionamiento del mismo.

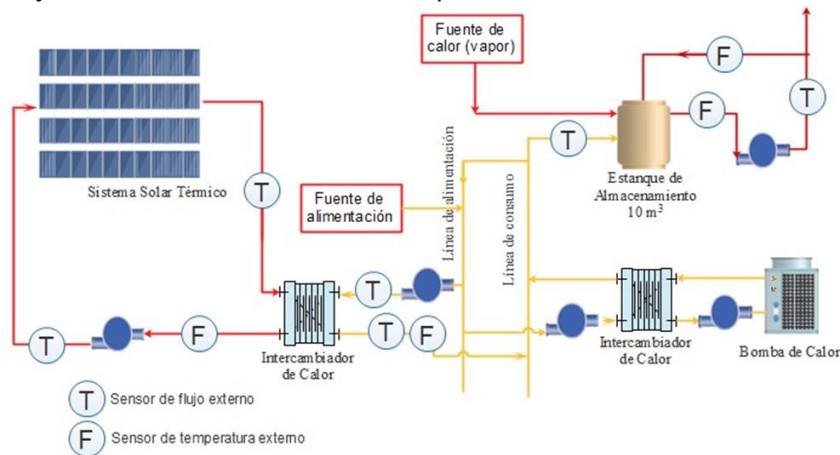


Figura 11: Esquema integración de campo solar en el proceso de limpieza de cliente CIAL. Se ven además los sensores utilizados en las diferentes campañas de monitoreo (Fuente: elaboración propia).

Posteriormente se realizaron simulaciones computacionales para evaluar y comparar la información monitoreada con los datos simulados. Esta comparación permite identificar la eficiencia actual del sistema solar térmico (datos monitoreados) con la eficiencia en condiciones óptimas (simulación computacional). Finalmente se entregaron una serie de recomendaciones para mejorar la eficiencia del sistema solar y su integración al proceso de limpieza. La siguiente figura esquematiza los ahorros económicos actuales a nivel anual y los que potencialmente se podrían alcanzar al llevar a cabo las recomendaciones entregadas por Fraunhofer.

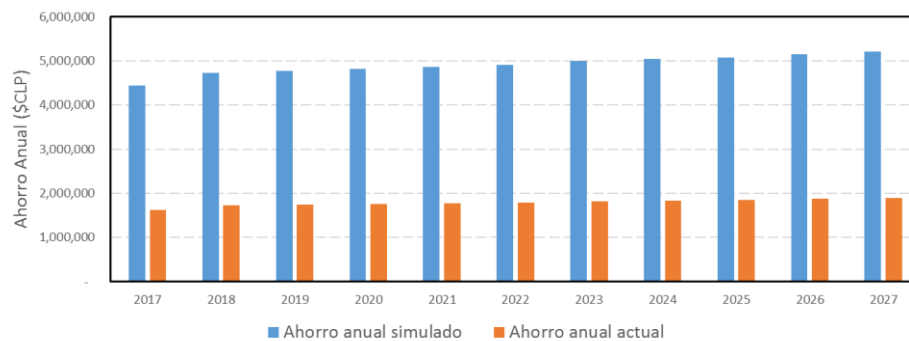


Figura 12: Ahorros económicos estimados gracias a sistema solar actual y sistema solar en condiciones óptimas (simulado) (Fuente: elaboración propia).

El segundo proyecto desarrollado durante este periodo es con el cliente Jucosol S.A. el cual posee un sistema solar térmico de concentración para precalentar el agua de suministro de una caldera de vapor. El proyecto financiado en parte por Jucosol y en parte por Camchal a través del concurso “Estudios de Factibilidad para la Evaluación de Medidas de Eficiencia Energética y Energías Renovables No Convencionales” busca optimizar el consumo de energía térmica para los procesos de la empresa de concentrados de uva Jucosol S.A.

En primera instancia se monitorearon los procesos de la planta de Jucosol desde la captación de calor por el sistema solar hasta la generación de vapor en la caldera caldera y los consumos térmicos de los procesos más relevantes (ver figura adjunta las diferentes campañas de monitoreo implementadas).

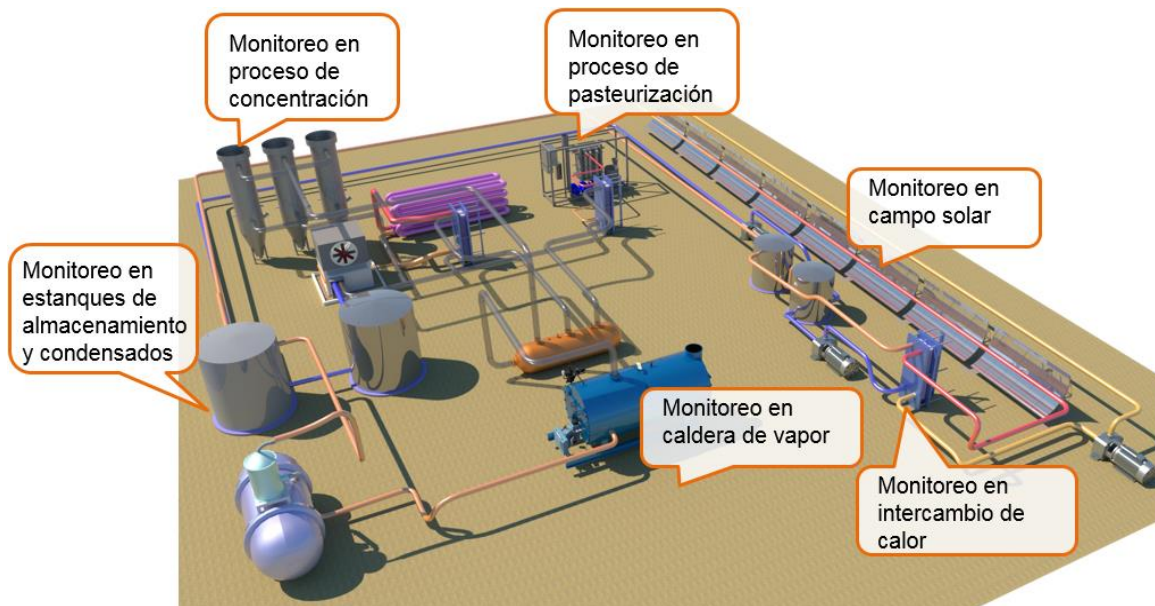


Figura 13: Esquema conceptual de los procesos térmicos de cliente Jucosol, se destacan las zonas donde se implementaron campañas de monitoreo (Fuente: elaboración propia).

Posteriormente se realizaron simulaciones computacionales para optimizar la integración del calor captado por su sistema solar de concentración en los procesos de la empresa considerando integración a nivel de suministro (antes de la caldera) como también integración directa a los procesos, específicamente al proceso de pasteurización.

Además se utilizaron técnicas de eficiencia energética en las redes de distribución de calor de los procesos para recuperar el calor liberado por ciertos procesos en otros que necesitan calor que permitió identificar una importante oportunidad de ahorro energético y económico interconectando los procesos que utilizan la máquina de concentración para precalentar el agua de la caldera.

Finalmente todas las soluciones generadas se analizaron desde un punto de vista técnico y económico para categorizarlas según su rentabilidad y así generar un portafolio de oportunidades para la empresa. Cabe destacar que todas las oportunidades identificadas se podrían implementar con un periodo de retorno de la inversión menor o igual a 5 años.

## 9 Descripción Actividades desarrolladas por UC

En el marco de los proyectos ejecutados por la UC en calidad de coejecutor, se tienen los siguientes proyectos:

Proyectos Desarrollados por la PUC como coejecutor		
RL2	Proyecto	Responsable
Proyecto en conjunto con RL1-Electricidad solar y RL2-Calor en procesos industriales	Metodología de predicción de materiales en CSP	Magdalena Walczak
	Corrosión en sistemas solares y plantas desalinizadoras	Francisco Javier Recio

### Observaciones de la Línea

N°	Nombre del proyecto	Institución Líder	Fecha de Inicio	Fecha de Terminó	% Avance programado	% Avance Real
1	Metodología de predicción de materiales en CSP	PUC	01/09/2016	13/02//2018	67%	70%

Considerando que como objetivo principal del proyecto, se estableció: “evaluar la metodología experimental más adecuada para predecir el inicio de la corrosión localizada en aleaciones metálicas empleadas en almacenamiento de energía térmica de plantas CSP”, los principales hitos a los largo del desarrollo del mismo son:

- **Hito 1: elección de metodología experimental a evaluar.**

Se realizó una revisión bibliográfica exhaustiva de las metodologías aplicables al contexto de almacenamiento térmico. Una vez identificadas las condiciones de operación del sistema de almacenamiento térmico en las plantas CSP, ya operativas, se seleccionó la metodología a evaluar en laboratorio, estableciendo el grupo de técnicas electroquímicas como aquellas con mayores niveles de confianza, reproducibilidad y precisión.

- **Hito 2: construcción de estación de medición experimental y simulación de servicio.**

Basado en el grupo de técnicas seleccionado, se procedió a comprar y adecuar el material del laboratorio y equipos disponibles necesarios para lograr simular las condiciones del servicio de almacenamiento térmico.



- **Hito 3: evaluación y validación de metodología experimental.**

Una vez operativa la estación de medición experimental, se realizaron diversos ensayos de laboratorio que simulaban las condiciones de servicio, con distintos materiales y tiempos de exposición. Los resultados obtenidos fueron analizados y validados con técnicas complementarias de análisis.

- **Hito 4: preparación de artículo científico.**

Finalmente, los resultados y sus análisis están siendo organizados en un artículo científico, el cual se planea someter a revisión a finales de febrero de 2018. Ver Anexo N.- 7.

2	<b>Corrosión en sistemas solares y plantas desalinizadoras</b>	PUC	01/09/2016	13/02/2018	75%	75%
---	--	-----	------------	------------	-----	-----

Durante la primera etapa del proyecto se ha clasificado el nivel de corrosividad atmosférica estacional en tres lugares del territorio chileno: Diego de Almagro, Carrera Pinto (ambas en Copiapó) y en la región metropolitana de Santiago. Los niveles de corrosividad en cada lugar difieren tanto en la ubicación como en el periodo de medida, indicando la importancia de la clasificación de la corrosión de forma continua.

Dentro de la misma área geográfica de Copiapó se han detectado diferentes grados de corrosividad, siendo especialmente alta en la ubicación de Diego de Almagro donde se alcanzaron niveles de corrosividad altos y muy altos para todos los metales expuestos. Sin embargo, en la estación ubicada en Carrera Pinto el nivel de corrosividad es menor, detectándose sólo niveles de corrosión muy altos en caso del Zinc durante el tercer trimestre de medida. Los altos niveles de corrosión se deben principalmente por la cercanía de industria minera a las estaciones de control unida a las condiciones climatológicas, siendo especialmente reseñable la alta corrosividad detectada en Diego de Almagro donde se detectó corrosión incluso en aceros inoxidable austeníticos tipo 304.

En el caso de los niveles de corrosividad alcanzados en la estación ubicada en el campus de San Joaquín, han variado sustancialmente según la época de medida, predominando unos niveles de corrosión intermedios. En esta estación, la corrosión está ocasionada principalmente por el alto nivel de contaminantes antropogénicos derivados de la industria y las variaciones climatológicas detectadas.

La perspectiva del proyecto es seguir con el monitoreo de las estaciones. Respecto a la duración, sería interesante ampliarlo al máximo de tiempo posible para poder tener datos suficientes que sean representativos, y con ellos poder realizar un clasificación con alta fiabilidad. De acuerdo con los pronósticos, se podría ampliar el trabajo a dos o tres años más, sin necesidad de invertir más recursos en la compra de material. La financiación futura estaría centrada en viajes a las estaciones para retirar muestras, caracterización de las muestras y honorarios de personal. Ver Anexo N.-8.



**Anexo No. 4: Tratamiento de Aguas**

**TITULO DE LA LINEA: Tratamiento de Aguas Solar**

**NOMBRE DEL PROYECTO:**

FRAUNHOFER CHILE RESEARCH-(FCR)  
CENTRO DE TECNOLOGÍAS PARA ENERGÍA SOLAR (CSET)

**CÓDIGO DEL PROYECTO:**

**13CEI2-21803**

**NOMBRE DEL DIRECTOR DE PROYECTO:**

Prof. Dr. Werner Platzer

## Tabla de Contenido

<b>1. EQUIPO DE TRABAJO.....</b>	<b>134</b>
<b>2. DESARROLLO DE SINERGIAS ENTRE LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>134</b>
<b>3. EQUIPAMIENTO E INFRAESTRUCTURA.....</b>	<b>135</b>
<b>4. ACTIVIDADES DE DIFUSION .....</b>	<b>135</b>
4.1. Asistencia a eventos, cursos y pasantías .....	135
4.2. Reuniones/Contactos/Alianzas.....	135
4.3. Publicaciones científicas ISI y poster .....	136
<b>5. NUEVOS PROYECTOS DE INVESTIGACION .....</b>	<b>136</b>
<b>6. PROYECTOS EN EJECUCIÓN (NO BASAL).....</b>	<b>136</b>
<b>7. DESCRIPCIÓN ACTIVIDADES.....</b>	<b>137</b>
PROYECTO 1: Destilación por Membrana .....	137
PROYECTO 2: Osmosis Inversa generada con PV .....	138
PROYECTO 3: Tratamiento de agua (UF, UV y otras tecnologías) .....	140
<b>8. DESCRIPCIÓN ACTIVIDADES DESARROLLADAS POR UC.....</b>	<b>145</b>

## Tabla de Figuras

Figura 1: Reacción fotocatalítica de TiO <sub>2</sub> (Castellote & Bengtsson, 2011).....	141
Figura 2: Principio de destilación solar pasiva .....	141
Figura 3: Destilación solar activa (Sampathkumar & Arjunan et al., 2010) .....	142

Figura 4: Concepto de reactor fotocatalítico ..... 143

Figura 5: Principio de operación de destilador solar evacuado de varias etapas (Ahmed & Hrairi et al., 2009) ..... 144

## 1. Equipo de Trabajo

Proyecto I+D	Nombre investigador (Apellido, Nombre)	Cargo/función que desempeña en la línea	Título académico
<i>Proyecto FCR-CSET Cod 13CEI2 21803</i>	Carrasco, Felix	Ingeniero de Proyectos	ENG.
<i>Proyecto FCR-CSET Cod 13CEI2 21803</i>	Teichert, Sebastian,	Investigador	MSC
<i>Proyecto FCR-CSET – UC Cod 13CEI2 21803</i>	Tundidor, Alain	Investigador	PhD
<i>Proyecto FCR-CSET – UC Cod 13CEI2 21803</i>	Suárez, Francisco	Investigador	PhD
<i>Proyecto FCR-CSET – UC Cod 13CEI2 21803</i>	González Torres, Marjorie	Investigador	LIC.
<i>Proyecto FCR-CSET – UC Cod 13CEI2 21803</i>	Saldías, Cesar	Investigador	PhD
<i>Proyecto FCR-CSET – UC Cod 13CEI2 21803</i>	Amigo, Jose Manuel	Investigador	MSC
<i>Proyecto FCR-CSET – UC Cod 13CEI2 21803</i>	Burdiles, Patricio	Investigador	MSC

## 2 Desarrollo de Sinergias entre líneas de investigación

Sinergia con	Descripción
<b>Coejecutor - UC</b>	Colaboración en realización de reporte de tecnología de Osmosis Inversa con paneles fotovoltaicos y el potencial que tiene esta tecnología para ser instalada en zonas remotas del país, especialmente en la zona norte.
<b>Otros centros o institutos nacionales</b>	Colaboración con CEGA (Centro de Excelencia de Geotermia de los Andes, Universidad de Chile) para la aplicación de proyecto de “Membrana de Destilación para desalinización y recuperación de minerales desde aguas geotermiales por medio del uso de calor

	geotérmico” – Proyecto Brine Mine; a través de instrumento de “Prototipos para la Innovación”.
<b>Otros centros o institutos Internacionales</b>	Intercambio de información técnica y colaboración con Fraunhofer IST (Institute for Surface Engineering and Thin Films), para el estudio de aplicaciones de fotocatalisis con recubrimiento de dióxido de titanio, y además con Fraunhofer IGB (Institute for Interfacial Engineering and Biotechnology), para desarrollo de conceptos de destilación a pequeña escala.
<b>Fraunhofer ISE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trabajo en conjunto con iniciativas privadas para la aplicación de tecnología de Membrada de Destilación, acoplado con la tecnología de lagunas cristalinas; específicamente desarrollando el estudio de mercado de materias primas, componentes y costos de operación y mantenimiento de estas instalaciones.</li> <li>• Participación en propuesta de Proyecto Brine Mine; a través de instrumento de “Prototipos para la Innovación”.</li> <li>• Participación en propuesta para convocatoria Fraunhofer para el estudio de mecanismos que eviten el ensuciamiento de membranas.</li> </ul>

### 3 Equipamiento e infraestructura

En este periodo no se han realizado nuevas adquisiciones de equipos, puesto que no se consiguen las aprobaciones para las pruebas piloto. Una vez que se definan estos aspectos, se procederá con las respectivas adquisiciones y adecuaciones de infraestructura, en línea con la propuesta presentada en el informe de continuidad.

### 4 Actividades de difusión

#### 4.1. Asistencia a eventos, cursos y pasantías

No se registró asistencia a eventos, cursos o pasantías durante este periodo.

#### 4.2. Reuniones/Contactos/Alianzas

Reunión	Lugar, Fecha	Descripción
Reunión de aclaración propuesta Brine Mine	Fundación Chile, 11 de Diciembre de 2017	Reunión conjunta con GTN LA y Corfo para aclarar aspectos de la propuesta
Reunión técnica con HidroponiaChile	Fraunhofer CSET, 14 de Diciembre de 2017	Reunión técnica con HidroponiaChile para desarrollar propuesta conjunta de sistema de fotocatalisis para tratamiento de agua.

Reunión técnica con HidroponiaChile	Fraunhofer CSET, 28 de Diciembre de 2017	Reunión técnica con HidroponiaChile para aclarar consumo de agua y nutrientes en sistemas hidropónicos.
-------------------------------------	--	---

#### 4.3 Publicaciones científicas ISI y poster

Publicación	Factor de impacto actual
No se reportan publicaciones a la fecha del presente informe	

### 5 Nuevos proyectos de investigación

Título del proyecto	Nombre del director	Estado
Membrana de Destilación para desalinización y recuperación de minerales desde aguas geotermales por medio del uso de calor geotérmico” – Proyecto Brine Mine	Werner Platzer	Propuesta entregada a Corfo en Prototipos – Programa Innovación Tecnológica Empresarial
“Análisis de opciones de reducción de costos de desalinización por medio de uso de Membrana de Destilación con calor residual, basado en dos escenarios previos”	Werner Platzer	Terminado

### 6 Proyectos en ejecución (no basal)

Proyecto uno	Nombre del director	Fecha de inicio	Fecha de término
“Análisis de opciones de reducción de costos de desalinización por medio de uso de Membrana de Destilación con calor residual, basado en dos escenarios previos”. Iniciativa Privada – Crystal Lagoons.	Werner Platzer	03.03.2017	20.09.2017
<b>Descripción:</b> Este proyecto se encuentra finalizado en esta etapa. El estudio establece finalmente que el costo del sistema depende principalmente de los costos de membrana y de los módulos de ésta; considerando aprovechar el calor residual directamente del agua de la planta térmica, pre-tratada en la laguna.			



Luego de la revisión de antecedentes y reporte de optimización de costos, Crystal Lagoons solicita la estimación de costo construcción y montaje de planta piloto MD, de tipo modular en capacidades de 1 y 5 m<sup>3</sup>/día. Actualmente la empresa se encuentra evaluando estas opciones, para determinar cuál instalar.

## 7 Descripción Actividades

### PROYECTO 1: Destilación por Membrana

#### WP 1.1 Análisis y adaptación de tecnología de Destilación por Membrana

**Avance Real: 100%**

##### **Descripción:**

En reporte de avance anterior se registró un avance de 100% con la descripción del avance final.

#### WP 1.2 Desarrollo de concepto de sistema para Chile

**Avance Real: 100%**

##### **Descripción:**

En el mes de Octubre de 2017 se presentó a fondos públicos la iniciativa “Brine Mine” consistente en la utilización del calor residual de aguas geotermales para obtener agua purificada y metales valiosos. La propuesta de valor de esta iniciativa corresponde a aportar con nuevas tecnologías a la extracción de minerales valiosos de manera sustentable y además obtener agua purificada en lugares donde el recurso es escaso. Este proyecto además agrega valor a las plantas geotérmicas de generación eléctrica, puesto que plantea un modelo de negocio donde la extracción de minerales y la obtención de agua purificada pueden ir de la mano con la generación de energía.

Los principales desafíos tecnológicos de este proyecto corresponden, por un lado a la capacidad de procesamiento del fluido geotérmico a manera de realizar una separación selectiva de los minerales valiosos, a pesar de los cambios químicos que sufrirá el fluido en su procesamiento. Además, otro desafío importante corresponde a determinar la manera correcta de tratar el fluido de forma que no exista precipitación de materiales excesiva y un deterioro prematuro de las membranas; entre otros desafíos.

La iniciativa cuenta con el apoyo de Geotérmica del Norte (GDN), propietaria de la operación Cerro Pabellón, primera planta geotérmica del país. Los resultados de esta propuesta serán conocidos en el mes Enero de 2018. Una vez se tenga el financiamiento, la primera acción será caracterizar los fluidos geotérmicos en al menos 4 sitios de interés, para luego enviar muestras de estos fluidos a Fraunhofer

ISE, donde se realizarán pruebas con diferentes tipos de membrana y se desarrollará diseño y construcción de la planta piloto.

El segundo concepto desarrollado corresponde a un sistema MD que utiliza el calor de rechazo del sistema de enfriamiento de una central térmica, para desalinizar agua de mar. Esta propuesta fue desarrollada para la empresa Crystal Lagoons, y contó con dos estudios, el primero de los cuales buscaba estudiar las distintas configuraciones del proceso y el segundo se orientó en optimizar el costo de las alternativas seleccionadas en el primer estudio.

### **WP 1.3 Instalar y evaluar prototipos en la industria**

**Avance Real: 75%**

#### **Descripción:**

En lo referente al proyecto Brine Mine, se espera su aprobación para febrero 2018, con lo cual los trabajos debieran iniciar a finales de febrero o marzo de 2018, donde se iniciará con la toma de muestras y análisis de fluido geotérmico de diferentes sitios de interés, para luego realizar pruebas en Alemania con diferentes tipos de membrana, y continuar con el diseño y construcción de la planta piloto.

En cuanto al proyecto desarrollado para la empresa Crystal Lagoons, los estudios de la tecnología, alternativas de proceso y optimización de costos ya han sido finalizadas. Con esta información la empresa ha solicitado la estimación de costo de fabricar una planta piloto modular, considerando dos capacidades, 1 y 5 m<sup>3</sup>/día. Se estima que durante el primer semestre de 2018 se defina la fabricación e instalación de este piloto.

### **PROYECTO 2: Osmosis Inversa generada con PV**

#### **WP 2.1 Revisión de tecnología**

**Avance Real: 100%**

#### **Descripción:**

La revisión de esta tecnología se concentró en su utilización para desalación de agua de mar y aguas salobres en zonas de escasez hídrica y que no poseen acceso a redes eléctricas. Esta tecnología de desalación es la más desarrollada mundialmente, y en los años 80 ya se instalaron las primeras plantas RO+PV. Actualmente, la tecnología RO+PV ya se encuentra desarrollada enfocada en pequeños consumos de localidades aisladas. Los diseños desarrollados en la actualidad se basan en la desalación autónoma con energía renovable, sin embargo es importante considerar sistemas híbridos que sean capaces de mantener la autonomía de la planta, operando de esta forma en su óptimo, e integrando sistemas de recuperación de energía e integración con otras necesidades de las pequeñas comunidades. Los costos de esta tecnología pueden variar desde 2,71 a 4,5 USD/kWh para los casos

con recuperación y sin recuperación de energía (considerando una planta de 10 m<sup>3</sup>/día, para tratar aguas salobres continentales).

### **WP 2.2 Desarrollo de un concepto para Chile**

**Avance Real 100%**

#### **Descripción:**

Las regiones del norte de Chile (Arica, Tarapacá y Antofagasta), se caracterizan por una escasa penetración de redes de distribución eléctrica hacia el interior, exceptuando por las líneas de alta tensión que abastecen principalmente a las faenas mineras de la zona. Las regiones de Atacama y Coquimbo poseen mayor penetración de redes eléctricas y una mayor actividad agrícola. En general, la zona estudiada reúne las condiciones para la instalación de estos sistemas, focalizándose en pequeñas comunidades retiradas del interior o en pequeñas comunidades costeras que no tienen acceso a red eléctrica; considerando el potencial solar de la zona norte del país. La radiación solar en estas regiones puede llegar a un promedio de 7,6 kWh/año.

En las regiones analizadas también existen restricciones al uso de los recursos hídricos continentales, ya sea superficiales o subterráneos. Es por esto que la factibilidad de uso de esta tecnología en el país, depende también de la disponibilidad del recurso hídrico y de las restricciones que pesan en su uso. El caso de desalación de agua de mar requiere de un importante consumo eléctrico asociado a labores de bombeo y de un mayor pretratamiento de las aguas, lo cual limita su uso para zonas del interior del país y en pequeñas comunidades alejadas de la costa.

El desarrollo de un concepto para Chile debe considerar la ubicación del recurso hídrico y el punto donde se requiere el consumo, calidad del agua, capacidad diaria, acceso a red y estabilidad de ésta, dificultad de accesos y capacidad de almacenamiento de energía (baterías). Este último factor es relevante considerando que la operación óptima de una planta de Osmosis Inversa es con un elevado factor de planta, por lo cual se requiere seguir operando durante las horas en que el recurso solar no está disponible.

En resumen la tecnología de Osmosis Inversa con PV es conocida, especialmente para sistemas a menor escala, existiendo algunas empresas que comercializan este tipo de equipos. Sin embargo esta tecnología debe seguir siendo investigada especialmente cuando se complementa, por ejemplo con sistemas de cultivos hidropónicos o tradicionales en zonas desérticas, donde el recurso hídrico es escaso o de mala calidad y se requiere reutilizar el agua en ciclos cerrados de cultivo, considerando conceptos como el mencionado en el reporte anterior.

### **WP 2.3 Instalación y evaluación de prototipo**

**Avance Real: NA%**

#### **Descripción:**

No se presenta información sobre esta actividad, dado que no hubo avances con respecto al informe anterior. Se

### PROYECTO 3: Tratamiento de agua (UF, UV y otras tecnologías)

#### WP 3.1 Revisión de tecnología y estudio de potencial en Chile

Avance Real: 100 %

#### Descripción:

En esta etapa se estudiaron dos tecnologías para tratamiento de agua utilizando energía solar: Fotocatálisis y Sistemas de Destilación Solar Térmica a pequeña escala.

#### Fotocatálisis:

La fotocatalisis es una técnica de tratamiento del agua, que pertenece a los "Procesos Avanzados de Oxidación" (PAO). El objetivo general de estos sistemas, es la generación de radicales OH, que son extremadamente reactivos y descomponen todo tipo de compuestos orgánicos presentes en aguas residuales, transformándolos en  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  e iones debido a la oxidación.

El método de degradación fotocatalítica utiliza la luz solar como entrada de energía primaria en presencia de un fotocatalizador, siendo el dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ) uno de los más comunes. Debido a la irradiación del  $\text{TiO}_2$  con luz UV y la presencia de oxígeno y agua, se generan radicales OH en su superficie.  $\text{TiO}_2$  como catalizador no se consume en la reacción y puede ser utilizado teóricamente ilimitado; y por lo tanto no se requiere adicionar más productos químicos.

Las principales aplicaciones de esta tecnología son en la reducción de la DQO (Demanda Química de Oxígeno); la mineralización de compuestos orgánicos peligrosos, la destrucción de inorgánicos peligrosos como los cianuros y en la desinfección del agua por la degradación de fungicidas, herbicidas y pesticidas dañinos (Singh & Chaudhary et al., 2011). La reacción se muestra en la siguiente Figura 1.

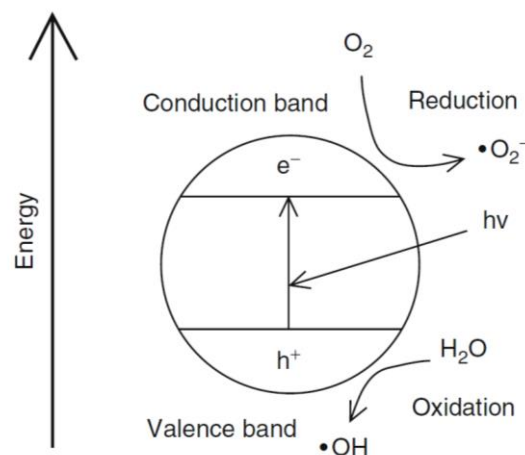


Figura 1

Figura 9

Figura 1: Reacción fotocatalítica de  $\text{TiO}_2$  (Castellote & Bengtsson, 2011)

La iluminación de la superficie del  $\text{TiO}_2$  con radiación UV ( $h\nu$ ), induce la separación de un electrón ( $e^-$ ) y un espacio ( $h^+$ ). Debido a los procesos de oxidación y reducción, se generan radicales  $\text{OH}^\cdot$  y  $\text{O}_2^\cdot$ . En general, hay dos maneras de realizar la reacción de fotocatalisis. Por un lado, el  $\text{TiO}_2$  se puede mezclar con el agua a tratar, la cual puede ser irradiada con luz UV para generar la reacción. Este procedimiento se llama fotocatalisis homogénea y tiene la ventaja de que la superficie de contacto entre  $\text{TiO}_2$  y el agua es muy grande. En consecuencia, muchos radicales OH se producen y el rendimiento del tratamiento es alto. La desventaja es que el  $\text{TiO}_2$  tiene que ser separado y recuperado del agua tratada después del proceso y se requiere un tratamiento posterior. Por otra parte, las superficies de materiales adecuados (materiales portadores) se pueden recubrir con  $\text{TiO}_2$ , por donde se hace pasar el agua a tratar. Este principio se denomina fotocatalisis heterogénea. Este método tiene la desventaja de que la superficie de contacto entre el  $\text{TiO}_2$  y el agua no es tan grande como en la catálisis homogénea y por lo tanto el rendimiento del tratamiento es menor. Pero tiene la gran ventaja de que el  $\text{TiO}_2$  no se mezcla con el agua y, por lo tanto, no es necesario un proceso de tratamiento posterior para separar o recuperar el  $\text{TiO}_2$  (Lu, 2013).

#### Destilación solar térmica a pequeña escala

La destilación es uno de los muchos procesos que se pueden utilizar para la purificación del agua. El proceso se utiliza para separar componentes o sustancias de una mezcla líquida mediante evaporación selectiva y condensación. Al hacerlo, agua potable completamente purificada puede ser generada eliminando todos los organismos microbiológicos y bacterias (>99%), arsénico y otros metales, y además otras bacterias y virus que afectan la salud de los seres humanos (Sahota, 2017). Sin embargo, el consumo de energía (energía eléctrica o fósil) es uno de los principales problemas en la mayoría de las plantas de destilación convencionales. Cuando se consume energía solar como fuente de energía para evaporar el agua, el proceso se denomina destilación solar.

Los sistemas de destilación solar se clasifican principalmente como sistemas pasivos y activos. En un destilador solar pasivo, la radiación solar es absorbida directamente por el agua de la cuenca. La radiación solar directa es la única fuente de energía para elevar la temperatura del agua. La figura 2 muestra el principio de una destilación solar pasiva.

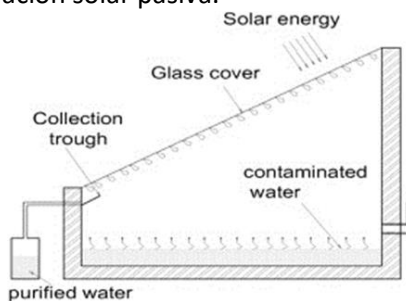


Figura 2: Principio de destilación solar pasiva

La radiación solar es absorbida por una superficie negra y el calor se transfiere al agua del reservorio. En la superficie interior de la cubierta de vidrio, el vapor producido se condensa, escurre y es recolectado en un tanque de almacenamiento. Este tipo de destilación es muy simple y la productividad del agua está en el rango de 2-3 l/m<sup>2</sup> al día (Rajaseenivasan & Murugavel et al., 2013).

Para superar el problema de la baja productividad de los destiladores solares pasivos, se han desarrollado destiladores solares activos. Aquí, se utiliza energía térmica adicional que es suministrada a un sistema de recirculación.

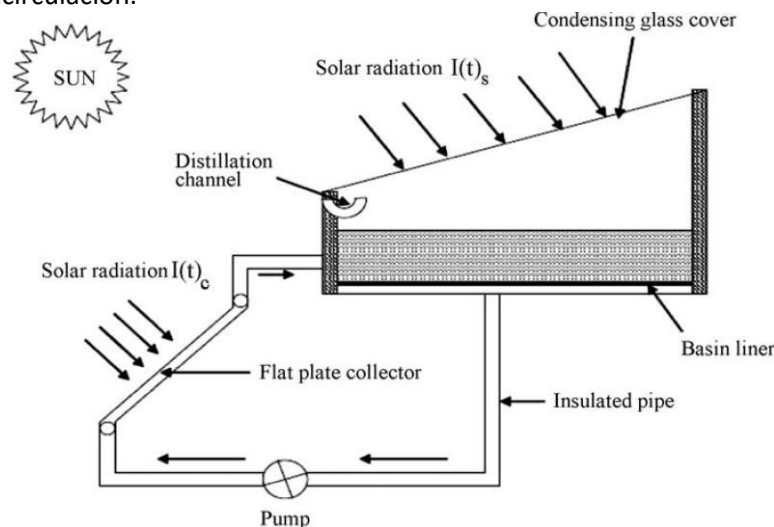


Figura 3: Destilación solar activa (Sampathkumar & Arjunan et al., 2010)

Como se ve en la Fig. 3, un colector plano proporciona la energía térmica adicional al reservorio del destilador solar. Una bomba se utiliza para hacer circular el agua del depósito a través del colector plano. En este modo se puede aumentar la temperatura del agua, y en consecuencia, la tasa de evaporación puede incrementarse. De esta manera, el rendimiento máximo del sistema fue de 5,18 l/m<sup>2</sup> (Sampathkumar & Arjunan et al., 2010); sin embargo, la productividad sigue siendo baja.

### WP 3.2 Desarrollo de concepto para Chile

**Avance Real: 100 %**

#### **Descripción:**

En este ámbito se buscó desarrollar conceptos aplicados a la agricultura hidropónica y a la destilación de agua por medio de energía solar para pequeñas localidades.

Una revisión más profunda de los sistemas hidropónicos mostró que no sólo los microorganismos se acumulan en las soluciones de nutrientes de los sistemas hidropónicos, sino también los compuestos fitotóxicos. Los compuestos fitotóxicos son compuestos orgánicos que se desprenden de las raíces de las plantas. En la naturaleza estos compuestos protegen las plantas, inhibiendo el crecimiento de otras plantas en el perímetro cercano (Hosseinzadeh & Verheust et al., 2017). Sin embargo, en los sistemas hidropónicos cerrados, estos compuestos inhiben todo el crecimiento de la planta y pueden reducir la cosecha total en más del 50% (Asaduzzaman & Asao, 2012).

Debido a que la fotocatalisis puede descomponer todo tipo de componentes orgánicos (incluyendo microorganismos y compuestos fitotóxicos) sin el uso de químicos nocivos y en combinación con la alta y continua radiación solar en Chile, especialmente en el norte, esta tecnología es perfecta para el tratamiento de soluciones hidropónicas de nutrientes. El concepto desarrollado e innovador tiene como objetivo maximizar la superficie catalítica y la radiación solar (UV) que llega al reactor manteniendo el reactor compacto. La figura 4 muestra el concepto desarrollado.

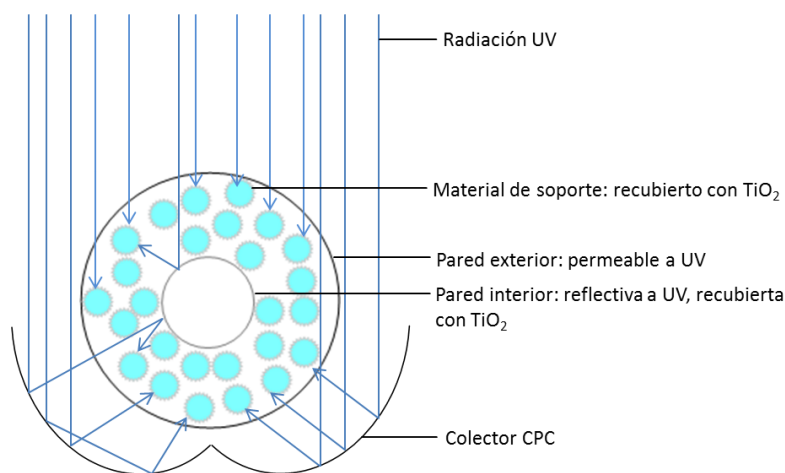


Figura 4: Concepto de reactor fotocatalítico

El reactor corresponde a un tubo de doble pared. La pared exterior es de vidrio permeable a los rayos UV, y la pared interior está recubierta con  $\text{TiO}_2$  y reflectante para la radiación UV. El espacio intermedio entre las dos paredes se rellena con materiales portadores, cuya superficie también está revestida con  $\text{TiO}_2$ . Los materiales portadores generan una gran superficie y pueden intercambiarse, si es necesario, por ejemplo con fines de limpieza y recambio. Con la configuración planteada, todo el reactor es irradiado por la luz solar. Lo anterior se logra al integrar todo el reactor en un colector solar compuesto (CPC). Mediante el uso de un CPC se pueden alcanzar proporciones de concentración de hasta 20, lo que significa que la radiación solar es hasta 20 veces más concentrada que sin CPC.

La solución de nutrientes entra en el interespacio del reactor tubular de doble pared y todo tipo de materiales orgánicos se descomponen sin afectar o alterar los nutrientes o su composición. Debido al hecho de que el  $\text{TiO}_2$  está inmovilizado, no se mezcla con la solución de nutrientes, por lo que no es necesario ningún otro tratamiento de separación, recuperación o uso adicional de productos químicos. Desde el punto de vista de sistemas de destilación solar a pequeña escala, se ha estudiado el concepto de destilación solar evacuada multietapa. Este sistema es una combinación de colectores planos y una unidad de condensación evaporativa. El sistema se alimenta con calor adicional a través de un colector de placas planas, lo que hace que el sistema sea "activo" para aumentar el rendimiento del destilado. La figura 5 muestra un diagrama esquemático del destilador solar de varias etapas evacuado.

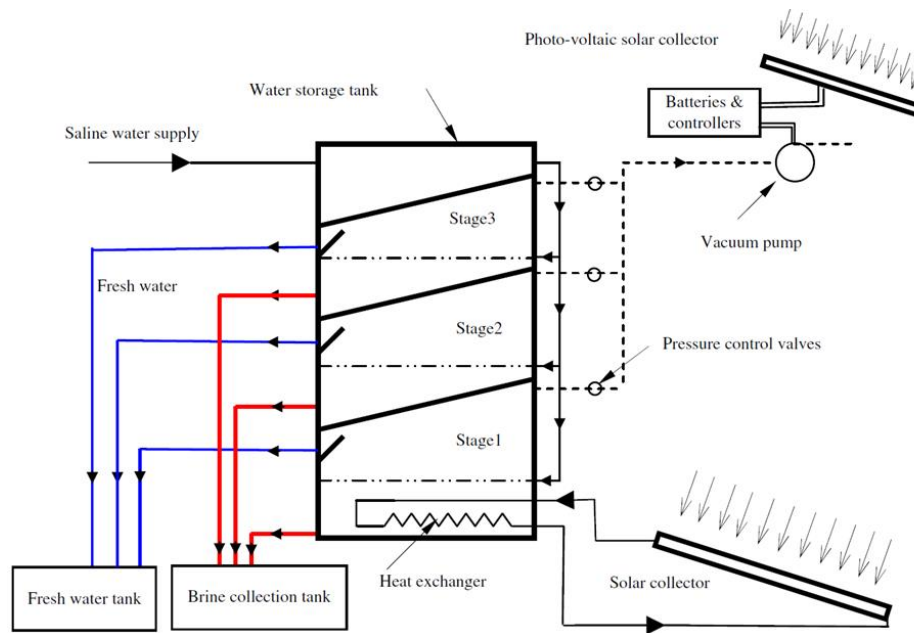


Figura 5: Principio de operación de destilador solar evacuado de varias etapas (Ahmed & Hrairi et al., 2009)

El sistema consta de diferentes etapas apiladas una encima de la otra. El agua salina es alimentada en cada etapa desde un tanque de agua ubicado en la parte superior de la tercera etapa. El vapor generado en la etapa inferior se condensa en la superficie inferior de la etapa intermedia. De esta manera, el vapor está dando su calor latente de condensación al agua salina en la segunda etapa y así evaporándola. El vapor generado en esa etapa se condensa de manera similar en la superficie inferior de la etapa superior, dando su calor latente a esa etapa y evaporándolo, etc. La presión dentro de cada una de las tres etapas se mantiene por debajo de la etapa anterior, permitiendo que el agua salina se evapore a temperaturas más bajas. El vacío es generado por una bomba eléctrica operada por energía solar fotovoltaica, por lo que todo el sistema puede funcionar sin ninguna fuente de energía externa como un sistema autónomo. La figura 6 muestra un sistema de destilación por aspiración en varias etapas.





Figura 6: Sistema de destilación solar evacuado de varias etapas

La eficiencia de destilación es del 87 % y la unidad produce más de 20 l/m<sup>2</sup> al día, lo que es al menos 7 veces superior a un destilador simple convencional (Sahota, 2017).

En conclusión, la destilación solar evacuada en varias etapas es un método sustentable para destilar aguas continentales salobres o agua de mar, o bien para tratar aguas contaminadas. Además, el método conviene por su fácil manejo, rentabilidad, variedad de diseño y bajo coste de mantenimiento. Esto hace que la tecnología sea interesante para el tratamiento de aguas con fines agrícolas a pequeña escala y para la producción de agua potable en zonas remotas, donde el agua dulce no está disponible en cantidad o calidad suficiente.

### WP 3.3 Consultoría con la Industria

**Avance Real: 25%**

#### **Descripción:**

No se presenta en este periodo avances.

### **8 Descripción Actividades Desarrolladas por UC**

N°	Nombre del proyecto	Institución(es) Líder(es)	Fecha de Inicio	Fecha de Termino	% Avance programado	% Avance Real
1	Desarrollo de Membrana. Modelación de sistema de destilación de	UC	01/09/2016	13/02/2018	80%	80%

	<b>membrana – utilización dinámica de los fluidos computacional (CFD)</b>					
<p>Los hitos más relevantes del proyecto hasta la fecha son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- El desarrollo de un modelo 2D en Openfoam, para representar el transporte de masa, calor y especies en una membrana de destilación sin fouling.</li> <li>- La validación del modelo sin fouling con tres casos de literatura: dos de ellos con configuración DCMD y uno con configuración PGMD.</li> <li>- El desarrollo de una rutina en MATLAB y PHREEQC para estimar el tiempo de cristalización de las sales en una membrana de destilación. El código consiste en un postprocesamiento de los resultados de Openfoam (campos de temperatura, concentración y velocidad), que junto a información asociada a la calidad del agua, son utilizados para estimar el índice de saturación de las sales. Finalmente se calcula el tiempo de residencia, que tiene relación con el tiempo de permanencia del fluido en el canal de alimentación de la membrana, y el tiempo de inducción, que tiene relación con el tiempo que toma una sal en precipitar a partir del momento en que la solución alcanza la saturación.</li> <li>- La validación de la rutina en la estimación del índice de saturación con dos experimentos.</li> <li>- El desarrollo de mallas en Gmsh para módulos con configuración DCMD con espaciadores circulares en zig-zag, promovedores de turbulencia.</li> </ul> <p><b>Actividades futuras (10/01/18 – 12/02/18)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Correr simulaciones con membranas con espaciadores. Estudiar el efecto que tiene el número y diámetro de los espaciadores, la temperatura y la velocidad de la solución de entrada en la membrana, sobre el tiempo en que ocurre el fouling.</li> <li>- Terminar manuscrito para posterior publicación en revista científica. Ver Anexo N.-9.</li> </ul>						
<b>2</b>	<b>Producción de Membranas. Desarrollo de membranas superhidrofóbicas basadas en polímeros y nanopartículas para el uso de destilación de membranas</b>	<b>UC</b>	<b>01/09/2016</b>	<b>13/02/2018</b>	<b>70%</b>	<b>61%</b>

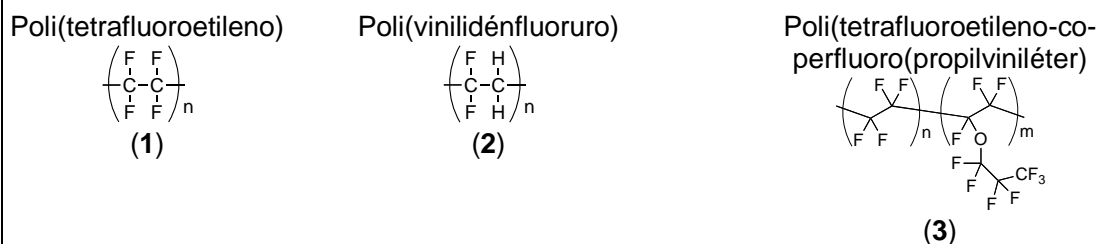
La destilación por membrana (MD) es un proceso que introduce un nuevo concepto en la purificación del agua. Basado en la permeabilidad al gas, MD ofrece una separación selectiva para obtener agua libre de sal.

Una superficie hidrófoba es un requisito para el proceso MD. El material altamente hidrófobo puede evitar la humectación y la condensación de agua desde el interior de la membrana. La mayoría de los estudios utilizan membranas porosas hidrófobas hechas de polipropileno (PP), politetrafluoroetileno (PTFE) y poli(fluoruro de vinilideno) (PVDF). Sin embargo, las membranas de PTFE y PP se producen usualmente por estiramiento o métodos térmicos debido a su insolubilidad en disolventes comunes, dando como resultado una porosidad relativamente baja. Las membranas microporosas derivadas de PVDF no mantienen un rendimiento a largo plazo debido a que la hidrofobicidad de la membrana no es lo suficientemente alta, lo que implica problemas de humectación.

Uno de los problemas que actualmente presentan los polímeros que se usan en esta tecnología es que no muestran una hidrofobicidad adecuada que permita que los poros se mantengan secos a medida que el vapor de agua atraviesa la membrana. Si los poros se humedecen con agua líquida disminuye considerablemente el flujo de masa a través de la membrana y disminuye el rendimiento del módulo.

Uno de los aditivos más interesantes para mejorar la hidrofobicidad son las nanopartículas. En un estudio reciente, las membranas de PVDF se recubrieron con nanopartículas de  $\text{TiO}_2$  y diferentes agentes de moldeo y se ensayaron en destilación por membrana. Su análisis superficial mostró estructuras porosas, de múltiples niveles y superhidrofobicidad, lo que condujo a una mejora en el rechazo de la sal y una reducción sustancial en la humectación de los poros.

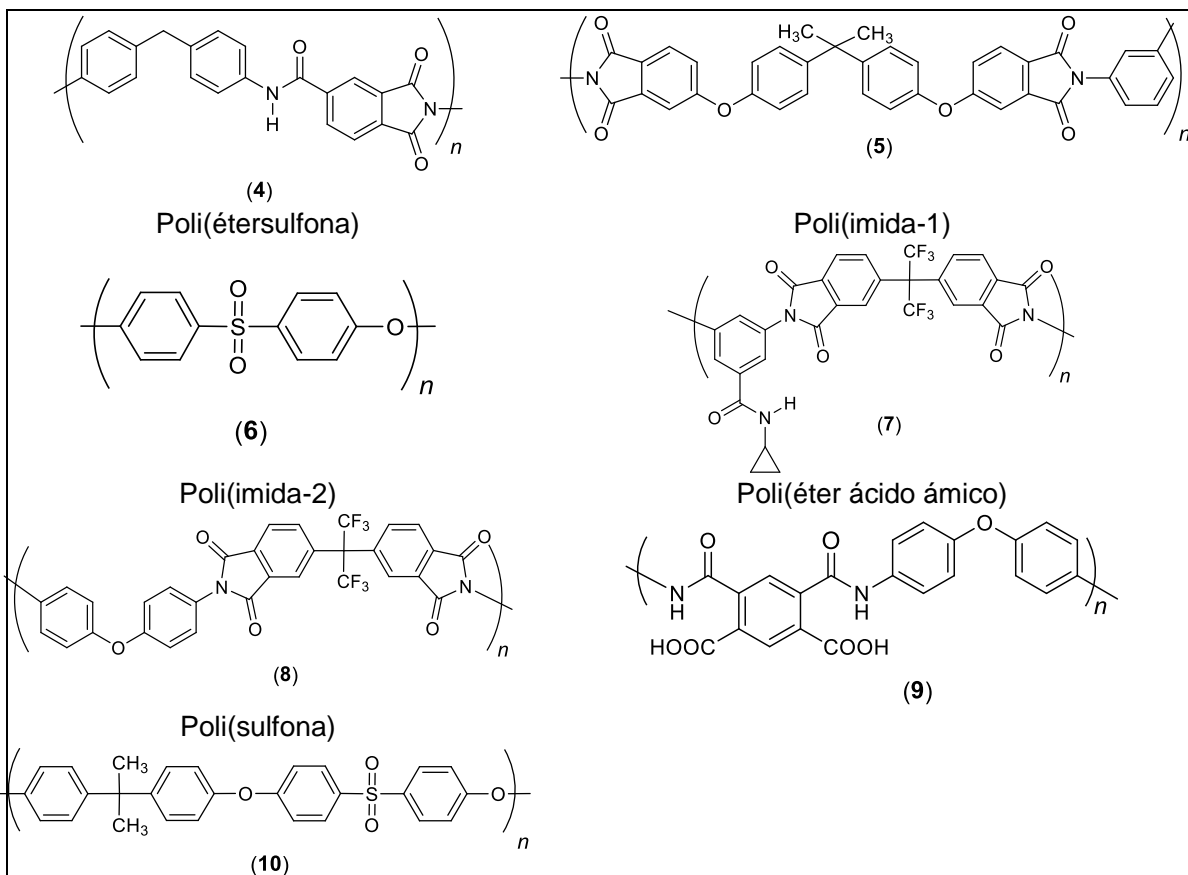
Para abordar la problemática planteada nuestro Proyecto pretendía diseñar y preparar membranas superhidrofóbicas compuestas por distintas formulaciones de polímeros hidrofóbicos comerciales (Figura 1, polímeros **1**, **2** y **3**), polímeros con un menor grado de hidrofobicidad (poliimidas, poliamidas, polisulfonas) comerciales y sintéticos (Figura 2, polímeros **4**, **5**, **6**, **7**, **8**, **9** y **10**), y nanopartículas de óxidos metálicos ( $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{SiO}_2$  y  $\text{CuO}$ ). La siguiente imagen muestra los polímeros a utilizar.



**Figura 1.** Polímeros hidrofóbicos comerciales.

Poli(amide-imida)

Poli(éteramide)



El trabajo se dividió en los siguientes pasos:

1. Síntesis de los polímeros sintéticos (7) y (8).
2. Ensayo de solubilidad de todos los polímeros comerciales y sintéticos.
3. Preparación de nanopartículas de óxidos metálicos.
4. Ensayo de compatibilidad entre las mezclas de los distintos polímeros usando agentes compatibilizantes cuando sea necesario y entre las nanopartículas y las disoluciones de polímeros.
5. Preparación de membranas con las mezclas resultantes.

Los Resultados obtenidos en esta primera etapa se enumeran a continuación:

-De los ocho polímeros comerciales se compraron solamente seis de ellos: **1, 2, 3, 5, 9 y 10**. Los polímeros **4 y 6** resultaron muy onerosos, por lo cual se decidió sacarlos del estudio.

-Se logró la síntesis y caracterización estructural del monómero necesario para la preparación de uno de los polímeros no comerciales denominado poli(imide-1) (7).

-Se logró la síntesis de ambos polímeros no comerciales poli(imide-1) (7) y poli(imide-2) (8). Los resultados de la síntesis, caracterización y estudios de las propiedades térmicas del polímero 7 se presentaron en el VIII Coloquio de Macromoléculas, realizado entre el 30 de Noviembre y el 3 de Diciembre de 2016, en Termas de Catillo, Parral, en modalidad de póster.

-Se ensayó la solubilidad de los distintos polímeros comerciales y no comerciales. De acuerdo con los resultados de solubilidad obtenidos se decide que de los tres polímeros hidrofóbicos (1, 2 y 3), solamente PVDF (2) presenta las mejores prestaciones debido a que su procesabilidad es relativamente fácil al ser el más soluble. Los otros dos polímeros son insolubles en la mayoría de los solventes ensayados, incluyendo solventes fluorados que según la literatura podrían disolverlos. Si bien se pudiera trabajar con ellos en estado fundido, su manejo a nivel de laboratorio sería dificultoso, así como las distintas mezclas que habría que hacer con los otros polímeros y con las nanopartículas, las cuales se forman bajo condiciones más controladas. Debido a esto, se decidió continuar la investigación ocupando solamente PVDF.

-Se optimizó la metodología para la síntesis de nanopartículas de óxido de cobre II (CuO) variando distintos parámetros experimentales. Se define que la metodología más adecuada es la preparación *in situ*, en presencia de la disolución del polímero y usando sulfato de cobre (II) en *N,N*-dimetilformamida (DMF). Al calentar esta mezcla a 150 °C por 5 horas, se forman las nanopartículas de óxido de cobre (II), las cuales se estabilizan con el propio disolvente y se identifican por métodos espectroscópicos de UV-visible.

-Con respecto a los cinco polímeros con menor grado de hidrofobicidad (5, 7, 8, 9 y 10) se ensayaron las mezclas entre cada uno de ellos, PVDF y las nanopartículas de CuO. De dichos ensayos se observó que la mezcla PVDF (2), poli(sulfona) (10) y nanopartículas de CuO (CuO NP) generaron películas de polímeros con una hidrofobicidad mayor a la que posee PVDF solo, conclusión extraída del análisis del ángulo de contacto. También, mezclas de PVDF con nanopartículas de CuO resultaron en películas con mayor hidrofobicidad, incluso fueron las más hidrofóbicas con ángulo de contacto de 113°. Estos resultados fueron mostrados en un póster durante la 14 Conferencia Latinoamericana de Físico-Química Orgánica celebrada en Con-Con, Chile entre los días 7 y 11 de Mayo de 2017.

-Durante el proceso de mezclas entre los polímeros 5, 7, 8, 9 y 10 con PVDF no se logra obtener disoluciones traslúcidas, indicando que no existe una adecuada interacción entre las distintas familias de polímeros con PVDF. Al calentar la disolución de la mezcla de polímeros en presencia de las nanopartículas, y luego enfriar, la disolución se mantiene homogénea. Al parecer, las nanopartículas favorecen o contribuyen a mejorar la interacción entre los polímeros. Sin embargo, durante el proceso de formación de la membrana, el cual se realiza por el método de evaporación del disolvente, a medida que éste se evapora, aumenta la interacción entre las cadenas y las películas no quedan uniformes. Este fenómeno fue evidenciado en menor medida con la mezcla poli(sulfona) (10)-PVDF (2).

-Con el objetivo de mejorar la compatibilidad entre los polímeros, se utilizaron agentes compatibilizantes reportados por la literatura y de uso con PVDF, específicamente, cloruro de litio y poli(etilenglicol) en distintas proporciones. Cuando se usan en bajas concentraciones no mejoraron la afinidad entre los polímeros, sólo se observó una mejoría cuando se ocupaban concentraciones superiores al 30 % en peso. Estas elevadas concentraciones de los agentes compatibilizantes si bien favorecen la homogeneidad de la mezcla de polímeros, contribuyen de forma negativa en la preparación de la membrana, debido a que ésta queda impregnada de grandes cantidades de sales y polímeros que tiene cierta solubilidad en agua, por lo que la membrana no podría ser usada en la tecnología de destilación por membrana. Debido a los problemas de incompatibilidad entre los polímeros y al valor elevado de ángulo de contacto obtenido para la película PVDF-CuO se decide trabajar solamente con este polímero hidrofóbico.

-Debido a la constante búsqueda bibliográfica, se encuentra que las membranas de PVDF se pueden soportar sobre una tela de poli(éster) no tejido, por el método de inversión de fase. Por lo que se decide probar esta técnica con la mezcla PVDF-CuO y usando un soporte de 5x5 cm con el objetivo de comprobar si se puede preparar esta membrana. Las membranas soportadas resultaron ser exitosas y se logra escalar a una membrana de 20x20 cm.

-Actualmente, nos encontramos haciendo un estudio con 10 membranas de PVDF-CuO soportadas a distintas concentraciones de nanopartículas con el objetivo de definir cuál es la concentración óptima en la formulación de la mezcla. Para esto se determinará la hidrofobicidad mediante el ángulo de contacto y se observará la presencia de poros en cada una de las membranas mediante SEM. Este estudio nos permitirá definir las condiciones para preparar una membrana que podría ser probada en un módulo a escala piloto. Los estudios de ángulo de contacto y SEM deben concluir durante le mes de Enero de 2018.

**NOTA ACLARATORIA:** En la primera Etapa se consideraba realizar un 70 % (Avance programado) del Proyecto Total y se logra un 56 % (Avance Real) debido a que no se pudo realizar el estudio con todas las nanopartículas definidas en el Proyecto. El 30 % restante para la Etapa 2 considera el uso de otras nanopartículas metálicas u óxidos metálicos, los ensayos de permeabilidad de las membranas en prototipos de módulos de membrana a nivel de laboratorio y los ensayos biológicos con aquellas membranas que contengan cobre para probar su propiedad de *anti-biofouling*. Ver Anexo N.-10

**Anexo No. 5: Desarrollo de Negocios**

**TITULO DE LA LINEA:**

Desarrollo de Negocios

**NOMBRE DEL PROYECTO:**

FRAUNHOFER CHILE RESEARCH-(FCR)  
CENTRO DE TECNOLOGÍAS PARA ENERGÍA SOLAR (CSET)

**CÓDIGO DEL PROYECTO:**

13CEI2-21803

**NOMBRE DEL DIRECTOR DE PROYECTO:**

Sr. Marco Vaccarezza

## Tabla de Contenido

<b>1. EQUIPO DE TRABAJO.....</b>	<b>153</b>
<b>2. DESARROLLO DE SINERGIAS ENTRE LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>153</b>
<b>3. EQUIPAMIENTO E INFRAESTRUCTURA.....</b>	<b>155</b>
<b>4. ACTIVIDADES DE DIFUSIÓN .....</b>	<b>155</b>
4.1. Asistencia a eventos, cursos y pasantías .....	155
4.2. Reuniones/Contactos/Alianzas.....	157
4.3. Publicaciones científicas ISI y poster .....	159
<b>5. NUEVOS PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>159</b>
<b>6. PROYECTOS EN EJECUCIÓN (NO BASAL).....</b>	<b>159</b>
<b>7. DESCRIPCIÓN ACTIVIDADES .....</b>	<b>161</b>
PROYECTO 1: Solar Cluster .....	161
PROYECTO 2: Plataforma Solar del Desierto de Atacama .....	162
PROYECTO 3: Calama Solar.....	164
PROYECTO 4: Estandarización y certificación.....	164

—



## 1. Equipo de trabajo

Proyecto I+D	Nombre investigador (Apellido, Nombre)	Cargo/función que desempeña en la línea	Título académico
Proyecto FCR-ICESE Cód. 13CEI2-21803	Vaccarezza, Marco	Business Development Manager	Magister en Ingeniería Civil Industrial
Proyecto FCR-ICESE Cód. 13CEI2-21803	Ortuzar, Fernanda	Investigador	MSc
Proyecto FCR-ICESE Cod 13CEI2-21803	Ramírez, Gonzalo	Investigador	Magister en Ciencia de la Ingeniería
Proyecto FCR-ICESE Cod 13CEI2-21803	Mancilla, Fernando	Investigador	MSc
Proyecto FCR-ICESE Cod 13CEI2-21803	Gese, Patricia	Investigador / Ingeniero de Proyectos	MSc

## 2 Desarrollo de sinergias entre líneas de investigación

Sinergia con	Descripción
<b>Electricidad solar</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Proyecto de Soiling realizado en conjunto actividades de análisis de resultados en proceso.</li> <li>- Cámaras de Cielo, proyecto iniciado por Business Development, ahora traspasado a Electricidad Solar, en desarrollo por parte de esta área.</li> <li>- Proyecto Agro PV, Línea Electricidad Solar contribuye con expertos en aspectos fotovoltaicos y eléctricos.</li> <li>- Trabajo en conjunto para preparar diversas propuestas de trabajo para empresas de sectores energía y minería.</li> <li>- Desarrollo conjunto de propuestas a diversos fondos públicos complementarios a proyecto basal, en sectores Almacenamiento.</li> <li>- Colaboración en proyecto Bienes Públicos Plataforma de Innovación Abierta, equipo Electricidad Solar contribuye en diversos aspectos.</li> </ul>
<b>Calor Solar</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Proyecto en Minera Collahuasi: visita técnica a instalaciones de la empresa y análisis de resultados.</li> <li>- Trabajo en conjunto para preparar diversas propuestas de trabajo para empresas del sector agro-industrial.</li> <li>- Trabajo conjunto en contacto con empresas del rubro Distribución de Gas (GLP y GNL), para estudiar proyectos de colaboración y desarrollo de pilotos en aplicaciones varias</li> </ul>

	<p>relacionadas con calor industrial mediante sistemas híbridos gas-solar.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Colaboración en proyecto Bienes Públicos Plataforma de Innovación Abierta, equipo Calor Solar contribuye en diversos aspectos, en particular levantamiento de oportunidades de innovación abierta en Agroindustria.</li> </ul>
<b>Tratamiento solar de agua</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se colaboró con esta área en la preparación de nueva propuesta a programa Contratos Tecnológicos, para desarrollar prueba de piloto de tecnología Brine Mine, que utiliza sistema de destilación por membrana para extraer minerales de valor de fluidos geotérmicos. Proyecto contó con colaboración e interés de Enel y Collahuasi. Segunda postulación presentada, a la espera de resultados.</li> </ul>
<b>Coejecutor UC</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Participación activa en Comité de Coordinación FCR CSET – PUC (Steering Committee).</li> <li>- Desarrollo de proyecto postulado en forma conjunta a Voucher de Innovación Corfo, para validación de sky cameras, en conjunto con Astronomía UC (Astroingeniería). Postulación exitosa, fondos adjudicados.</li> </ul>
<b>Otros centros o institutos nacionales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se continúa en colaboración con Centro de Energía de la Universidad de Chile, y con Fundación Chile, en trabajo relacionado con proyectos de Bienes Públicos.</li> </ul>
<b>Otros centros o institutos Internacionales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se trabaja en postulación a consultoría internacional relacionada con energía solar con Universidad Federal de Santa Catarina, Florianópolis.</li> </ul>
<b>Fraunhofer Chile Research CSB</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Trabajo conjunto con Fraunhofer CSB en desarrollo del proyecto Agro PV, financiado por FIC-R GORE RM;</li> <li>- Postulación desarrollada en conjunto a FIC-R GORE RM 2017, propuesta presentada : Urban Farm PV: Agricultura urbana inteligente, nuevos modelos de producción sustentable;</li> <li>- Colaboración con Fraunhofer CSB en proyecto PDT Arica Smart Agro.</li> </ul>
<b>Fraunhofer ISE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fraunhofer ISE participa de manera activa en proyecto BBPP Corredor Solar de la Cuenca del Salado, suministró informe sobre reporte del estado del arte de tecnologías de Smart Grid;</li> <li>- Fraunhofer ISE contribuye de manera activa, con apoyo tecnológico, visitas técnicas de expertos y apoyo en análisis de resultados, en proyecto FIC-R Agro PV;</li> <li>- Fraunhofer UMSICHT (Fraunhofer Institute for Environmental, safety, and Energy Technology), colaboración en presentación de iniciativa Urban Farms a FIC-R GORE RM 2017.</li> <li>- Fraunhofer ISE contribuye con información y contactos para estudiar aplicaciones y proyectos conjuntos en Hidrógeno, con énfasis en preparación de propuesta para llamado Corfo</li> </ul>

	referente a reemplazo de diésel en maquinaria de la gran minería.
--	---

### 3 Equipamiento e infraestructura

Durante el periodo del presente Informe de Avance, no se presenta adquisición de equipo para esta línea.

### 4 Actividades de difusión

#### 4.1. Asistencia a eventos, cursos y pasantías

Evento Curso pasantía	Lugar, Fecha	Asistentes	Descripción	Tipo
Seminario de Cierre Agro PV	Santiago, Hotel Plaza el Bosque, 23 Noviembre 2017	Seminario masivo, más de 100 asistentes, autoridades del Gob. Regional de Santiago, Expertos Fraunhofer ISE, Seremi Energía, INDAP, Universidades, agrupaciones agrícolas, Banco Estado, entre otros.	Seminario de cierre y conclusiones, y presentación de resultados preliminares, del proyecto Agro PV, realizado con fondos del Gob. Regional de Santiago. Expertos alemanes realizaron presentación principal. Contó con la presencia del Sr. Claudio Orrego, Intendente de la Región Metropolitana. Contó además con presentaciones del SEREMI de Energía RM y de ejecutivo Pyme del Banco Estado, presentando planes y programas de financiamiento de proyectos solares-ERNC.	Seminario organizado por Fraunhofer CSET. Presentaciones realizadas por diversos expertos del equipo Fraunhofer Chile y además de ISE Alemania.

<p>Seminario Smart Agro Arica</p>	<p>Arica, 28 de noviembre, 2017, Salón de Convenciones Luckia</p>	<p>Seminario AgroPV: Energía Solar para una Agricultura Sustentable, en el marco del proyecto IFI Estrategica Arica Smart Agricultura Fotovoltaica</p>	<p>Seminario con más de 50 asistentes, productores, autoridades, miembros de academia e industria de Arica, presentando conceptos Agro PV, Smart Agro y potencialidades de aplicaciones TI y Agro PV en sector agro de Arica.</p>	<p>Marco Vaccarezza realizó presentación en el seminario.</p>
<p>Evento Agro Ambiente</p>	<p>Santiago, 6 de diciembre, Hotel Manquehue</p>	<p>Taller de aplicaciones solares para sector agroindustria y alimentos, organizado por el Estado de Sajonia de Alemania</p>	<p>Seminario con representantes de la industria ERNC y relacionados de Sajonia, más representantes de la industria del agro, alimentos y vinos de Chile, para estudiar aplicaciones y beneficio ERNC en sector agroindustria chileno, en colaboración con empresas de Sajonia, Alemania.</p>	<p>Marco Vaccarezza realizó presentación en el seminario.</p>
<p>Almuerzo EcoSistema EE y ERNC</p>	<p>Banco Estado, 21 de diciembre</p>	<p>Almuerzo de networking sector Eficiencia Energética y ERNC, organizado por Gerencia Pequeñas y Medianas Empresas de Banco Estado</p>	<p>Encuentro de networking, con participación de autoridades, representantes del Banco Estado, industria y otros, para conocimiento y difusión de programas de financiamiento especiales para proyectos ERNC, por parte de Banco Estado.</p>	<p>Asistencia.</p>

Segundo Encuentro Confianza, Crecimiento y Desarrollo Productivo Sostenible	Santiago, Hotel Intercontinental, 9 de enero 2018	Seminario de presentación de resultados de evaluación de la política de transformación productiva de Chile, organizado por Corfo	Presentación de resultados de evaluación de la política de transformación productiva de Chile, y recomendaciones, por parte de OECD y BID, en base a estudio contratado por Corfo para medir desempeño y efectividad de los programas. Masiva asistencia, autoridades, industria, academia, instituciones varias.	Asistencia.
---	---	--	---	-------------

#### 4.2. Reuniones/Contactos/Alianzas

Reunión	Fecha	Descripción
Abastible	Oficinas Abastible Santiago, Apoquindo 5550, piso 15	Reunión con empresa Abastible, para explorar proyectos de Colaboración conjunta, desarrollo de posibles pilotos de plantas híbridas gas-solar, aplicaciones industriales en general.
Enx (Shell Combustibles)	Ciudad Empresarial, oficinas Enx, 16 de Noviembre 2017	Posibilidad para estudio de potencial fotovoltaico en red de distribuidoras Shell
Comité Solar Corfo	Oficinas Comité Solar, Agustinas 640, 22 de noviembre 2017	Presentación de Expertos Alemanes Agro PV a integrantes de Comité Solar Corfo
Ministerio de Energía	Oficinas Ministerio de Energía, 22 de Nov. 2017	Presentación de Expertos Alemanes Agro PV a integrantes de Ministerio de Energía
Semillas Pioneer, Grupo DuPont	Instalaciones Pioneer en Valle de Azapa, Arica, 28 de Nov. 2017	Reunión para explorar posibilidades de cooperación y desarrollo de proyectos conjuntos

Puerto de Arica, TPA	Oficinas TPA, Arica, 29 de Nov. 2017	Reunión para explorar posibilidades de cooperación y desarrollo de proyectos conjuntos
Corpesca, Arica	Oficinas Corpesca, Arica, 29 de Nov. 2017	Reunión para explorar posibilidades de cooperación y desarrollo de proyectos conjuntos
Universidad Federico Santa María	Sede UTFSM San Joaquín, Sgto., 11 Dic. 2017	Reunión para explorar formación de consorcio para presentación de propuesta a llamados H2 en Minería, Corfo
Prodesal El Monte, Santiago	Oficinas Prodesal / INDAP El Monte, RM, Dic. 15 de 2017	Reunión con ejecutivos y encargados locales Prodesal – Indap de El Monte, para desarrollar posibles proyectos derivados de iniciativa Agro PV
SunEnerGreen	Oficinas empresa en El Monte, Santiago, Dic. 15 de 2017	Reunión con empresa SunEnerGreen, especializada en desarrollo ERNC para sector Agro, para explorar posibles proyectos derivados de iniciativa Agro PV
Frigorífico Karmac	Oficinas CSET en San Joaquín, Santiago, 26 Dic. 2017	Reunión con Frigorífico Karmac, procesamiento de carnes en gran escala, ubicado en localidad de Lampa, para explorar posibilidades de colaboración y aplicación de energía solar en demanda energética para generación de frío en cadena de tratamiento de productos.
Lipigas	Oficinas Lipigas Santiago, Apoquindo 5400, Piso 15	Reunión con empresa Lipigas, para explorar proyectos de colaboración conjunta, desarrollo de posibles pilotos de plantas híbridas gas-solar, aplicaciones de tipo smart-metering, entre otros.
Agrogold	Oficinas CSET en San Joaquín, Santiago, 03 Enero 2018	Agrogold, empresa productora de Kiwis en región de O'Higgins, interés en explorar aplicaciones Fotovoltaicas basadas en concepto Agro PV

### 4.3. Publicaciones científicas ISI y poster

No aplica para esta línea.

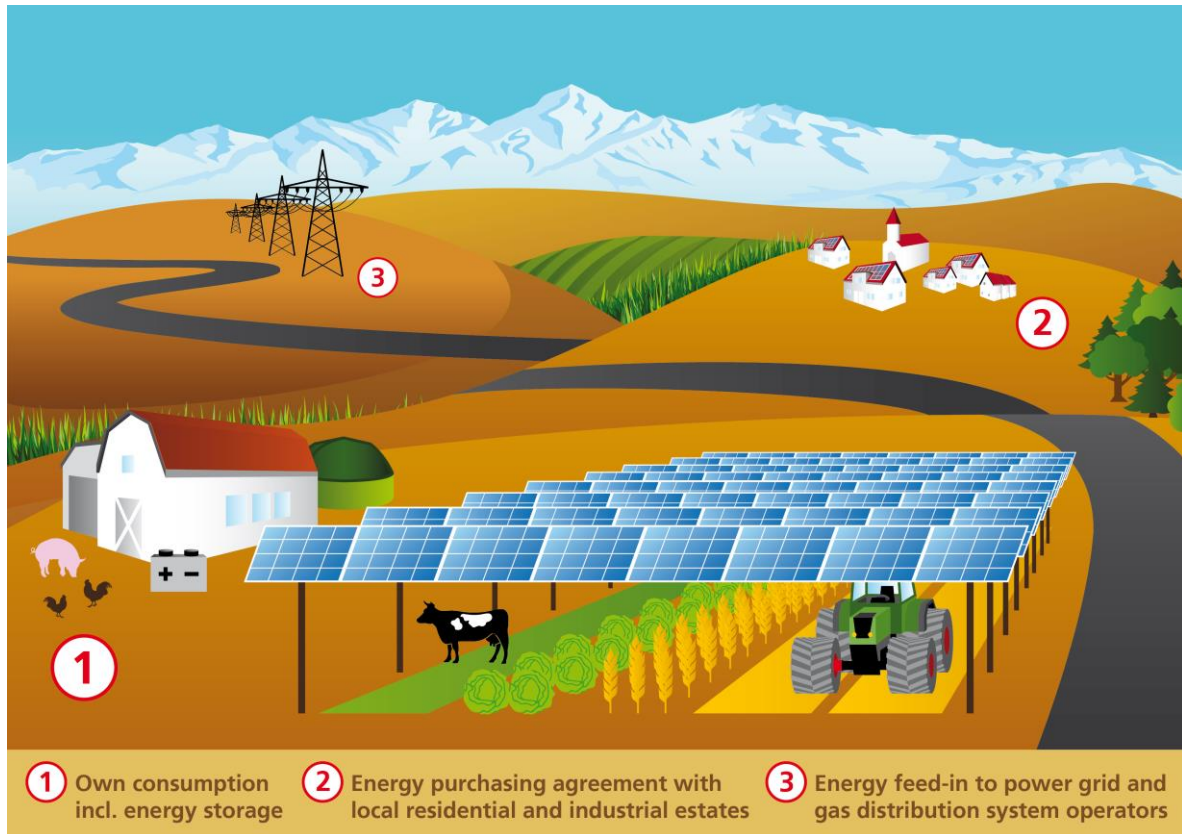
## 5 Nuevos proyectos de investigación

Título del proyecto	Nombre del director	Estado
Validación de uso de cámaras de cielo fabricadas en Chile para la realización de NowCasting en plantas solares en general. Proyecto adjudicado a ObsTech, (spin-off UC Astronomía). Presentado a Voucher de Innovación Corfo.	Samuel Ropert Rosel (UC) Gonzalo Ramirez (FCR-CSET)	Proyecto adjudicado a ObsTech y FCR-CSET, bajo modalidad de Subcontrato Técnico

## 6 Proyectos en ejecución (no basal)

Proyecto uno	Nombre del director	Fecha de inicio	Fecha de término
“AgroPV: Desarrollo y comprobación de la viabilidad técnico económica del concepto agro foto voltaico en la producción horto frutícola de la RM, como vehículo para agregar valor y aumentar competitividad en el sector agrícola regional”. Financiamiento FIC-R, de la Región Metropolitana de Santiago.	Marco Vaccarezza	04/2016	02/2018
<p><b>Descripción:</b></p> <p>A fecha de redacción del presente Informe, el Proyecto Agro PV ya tiene las tres plantas piloto Instaladas, con todos sus elementos incluidos: estructuras de soporte, instalación de paneles, inversores, cableado DC completo y cableado AC completo, desde las plantas hasta los consumos eléctricos de los beneficiarios.</p> <p>Asimismo, las tres plantas ya tienen instalados los sistemas de monitoreo, para la medición y seguimiento de variables técnicas en forma remota.</p> <p>Las tres plantas cuentan con todos los formulario TE4 aprobados por SEC y se encuentra en proceso trámite final de conexión a redes de distribución respectivas, (Enel y CGE). En la parte referente a manipulación y Gestión de Cultivos, se desarrollado en los tres sectores actividades agrícolas, con supervisión de especialistas de FCR-CSET, para verificar que el concepto Agro PV es compatible con el normal funcionamiento de dicha actividad.</p> <p>Se desarrollaron durante este periodo las actividades de transferencia de conocimiento del proyecto a la comunidad, con la realización de un seminario de importante asistencia el día 23 de noviembre,</p>			

con la visita de expertos alemanes entre los días 20 y 30 de noviembre, más talleres en terreno de transferencia de conocimientos a beneficiarios.



*AgroPV: Descripción genérica del concepto*



*Ejemplo de Operación de Maquinaria Agrícola en Planta Piloto Agro PV - Curacavi*





## 7 Descripción actividades

### PROYECTO 1: Solar Cluster

NOTA: La línea de Business Development participa en calidad de coordinador para el presente proyecto; sin embargo, el mismo presenta una alta dependencia de factores externos para el logro de su cumplimiento (políticas públicas, estrategias nacionales, contingencias que puedan afectar su rumbo) lo cual agrega factores de riesgos externos al proyecto. El avance registrado en este informe refleja la contribución exclusiva de la línea Business Development, extrayendo estos factores externos.

También es importante mencionar que, si bien la línea Business Development es coordinador de este proyecto, el mismo es transversal a FCR-CSET, por lo cual figuran actividades netamente técnicas, las cuales escapan del alcance de la línea Business Development siendo responsabilidad de las demás líneas técnicas, lo cual se explica en detalle dentro de las actividades correspondientes.

En este contexto, Business Development participa activamente en el Programa Estratégico Solar, siendo Fraunhofer Chile Research – CSET parte del Consejo Directivo y teniendo participación activa en todas las sesiones del Consejo. Los objetivos específicos de esta participación se plasman en el consenso de las diversas iniciativas contempladas en el Programa Estratégico Solar, que ha desarrollado convocatorias, entre ellas aquella denominada “Bienes Públicos Estratégicos de Alto Impacto para la Competitividad”, estando previstas convocatorias futuras de gran envergadura, se destaca el programa “Desert Module & System Technology Program”, consistente en impulsar el desarrollo de tecnologías solares especialmente adaptadas a las condiciones extraordinarias existentes en el Desierto de Atacama.

Se mantiene una permanente coordinación con otras instituciones de I+D relacionadas con el Programa Estratégico Solar, bajo la forma de una ‘Round Table’, con un plan de reuniones periódicas.

### **WP 1.1 Coordinación con otras instituciones de I+D (round table)**

**Avance Real 100%**

**Descripción:**

Se trata de actividad de tipo permanente, participando en mesas de trabajo, seminarios, talleres o paneles convocados por diversas instancias del ecosistema de innovación relacionado con Energía Solar en Chile.

### **WP 1.2 Apoyo al Programa Estratégico Solar**

**Avance Real 100%**

**Descripción:**

Esta actividad se refiere esencialmente a la participación de FCR-CSET en las actividades de desarrollo del Programa Estratégico Solar, como parte activa del Consejo Directivo del Programa. Estas actividades concluyeron con la presentación del programa al FIE (Fondo de Inversiones Estratégicas) de Ministerio de Economía, y posterior adjudicación positiva en el mismo, lo que derivó en una serie de llamados desarrollados desde CORFO, durante el segundo semestre de 2016 y primer semestre de 2017.

### **WP 1.3 Participation in IEA Implementing agreements**

**Avance Real 100%**

**Descripción:**

Durante el periodo se continuó con la realización de reuniones de coordinación y exploración de instancias de colaboración.

### **WP 1.4 Seminarios Solares de Fraunhofer Chile Research - CSET**

**Avance Real 100%**

Nota: no es claro que aquí aplique un % de avance dado que es una actividad de tipo permanente, no obstante, para dar consistencia al informe, se plantea un avance del 100%, considerando que las actividades consideradas se vienen realizando.

**Descripción:**

En la actividad relativa a los Seminarios públicos, el día 24 de noviembre de 2017 se realizó el Seminario Solar Fraunhofer Chile Research “Usos del Calor Solar en la Industria Alimentaria”, en dependencias de la Escuela de Construcción Civil PUC, Campus San Joaquín.

Adicionalmente, la UC llevó a cabo un seminario para presentar los avances de algunos de sus proyectos de investigación.

## **PROYECTO 2: Plataforma Solar del Desierto de Atacama**

### **WP 2.1 Coordinación con otras instituciones / Roles y Gobernanza**

**Avance Real 100%**

**Descripción:**

Esta tarea se fusiona y desarrolla como parte del avance en el Proyecto 1, Solar Clúster. La actividad relacionada con la Plataforma se inserta en el contexto de la participación de FCR-CSET en el Consejo Directivo del Programa Estratégico Solar, integrando el Consejo Directivo.

En forma complementaria, específicamente en relación a la Plataforma, se están trabajando proyectos en conjunto con la Universidad de Antofagasta. Se han realizado talleres técnicos, y hay trabajos de investigación en curso en Concentración Fotovoltaica y Sales Fundidas, (a cargo de las respectivas Líneas de Investigación).

### **WP 2.2 Definición, adquisición e instalación de equipo**

**Avance Real NA**

**Descripción:**

Esta actividad no corresponde a las funciones de la Línea Desarrollo de Negocios, dado que todo el tema equipamiento compete a las Líneas de Investigación Técnicas.

### **WP 2.3 Operación de equipo**

**Avance Real NA**

**Descripción:**

Con base en la misma explicación del punto anterior, esta actividad no aplica a la Línea Business Development.

### **WP 2.4 Servicios avanzados a la industria y otras instituciones**

**Avance Real 100%**

**Descripción:**

Contacto permanente con la industria a través de reuniones directas y participación en seminarios, congresos y eventos, con la Industria, para levantar necesidades y problemáticas a resolver mediante la aplicación de proyectos / programas de transferencia tecnológica, en materias de energías renovables y eficiencia energética.

Con apoyo en el Consejo Asesor Industrial de FCR-CSET, se realizan actividades de contacto permanente con asociaciones gremiales empresariales: ACESOL, ACERA, Generadoras de Chile, SOFOFA,

FEDEFRUTA, CCHC-CDT, como forma para adquirir contactos de manera transversal e independiente con los respectivos sectores industriales, levantando necesidades y percepciones en relación a temas y proyectos de la energía solar.

Como hitos relevantes en el periodo, la Línea Business Development ha logrado implementar contratos de trabajo directos con empresas privadas, descritos precedentemente, con empresas del sector agroindustria, combustibles, energía y minería.

### **PROYECTO 3: Calama Solar**

#### **WP 3.1 Definición de objetivos generales**

**Avance Real 100%**

**Descripción:**

En el periodo reportado se terminaron, aprobaron y entregaron al Ministerio de Energía (Programa Comuna Energética) y a Corfo los Informes Finales de las Estrategias Energéticas Locales de Diego de Almagro y Chañaral.

#### **WP 3.2 Coordinación con otras instituciones / Roles y Gobernanza**

**Avance Real 100%**

**Descripción:**

Ver avance en Solar Clúster, este proyecto se fusiona y desarrolla como parte de esta iniciativa, a través de nuestra participación activa en el Consejo del Programa Estratégico Solar.

En particular, en el proyecto Estrategias Energéticas Locales de Diego de Almagro y Chañaral, las contrapartes han sido las respectivas Municipalidades, CORFO, Ministerio de Energía, Gobierno Regional e Intendencia de Atacama, y se ha trabajado en colaboración y coordinación con el Observatorio de Ciudades UC.

### **PROYECTO 4: Estandarización y certificación**

#### **WP 4.1 Investigación de Mercado y análisis de necesidades en la industria chilena**

**Avance Real 60%**

**Descripción:**

El proyecto de Estandarización y Certificación ha presentado mayores avances respecto al informe anterior, destacando la continuidad en la realización de reuniones con diversos actores del mercado,

con particular énfasis en operadores de grandes plantas fotovoltaicas. Se continúa en contactos con entes públicos y privados, en coordinación con la Línea de Investigación Electricidad Solar, para definir y acotar necesidades de la industria.

#### **WP 4.2 Desarrollo de Certificados Fraunhofer Chile**

**Avance Real 40%**

**Descripción:**

Aún no se cuenta con avance suficiente para definir certificados oficiales Fraunhofer Chile. Además esta actividad debe estar alineada con el desarrollo de estándares a nivel nacional, proceso que está en curso, con mesa de trabajo coordinada por INN, en la cual Fraunhofer participa.

#### **WP 4.3 Definición de tests y certificados para estándares chilenos**

**Avance Real 75%**

**Descripción:**

Aún no se cuenta con avance suficiente para definir tests y certificados oficiales. Además esta actividad debe estar alineada con el desarrollo de estándares a nivel nacional, proceso que está en curso, con mesa de trabajo coordinada por INN, en la cual Fraunhofer participa.

#### **WP 4.4 Coordinación con el gobierno para lineamientos de estandarización y certificación**

**Avance Real 100%**

**Descripción:**

Se participa activamente en mesa de trabajo coordinada por INN, en conjunto con diversos actores públicos y privados, en conjunto con Línea de Investigación Electricidad Solar.

**Anexo No. 6: Proyectos Coejecutor UC**

**TITULO DE LA LINEA:**

Proyectos Desarrollados por Coejecutor UC

**NOMBRE DEL PROYECTO:**

FRAUNHOFER CHILE RESEARCH-(FCR)  
CENTRO DE TECNOLOGÍAS PARA ENERGÍA SOLAR (CSET)

**CÓDIGO DEL PROYECTO:**

13CEI2-21803

**NOMBRE DEL DIRECTOR DE INVESTIGACIÓN en UC:**

Dr. Rodrigo Escobar