Programa de
Energías Renovables
y Eficiencia Energética
en Chile

Experiencias de plantas solares en Chile en operación y conectadas a la red

Análisis y diagnóstico

Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Por encargo de:

Ministerio Federal
de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza,
Obras Públicas y Seguridad Nuclear

de la República Federal de Alemania

Ministerio de
Energía

Gobierno de Chile

Edición:
Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Friedrich-Ebert-Allee 40
53113 Bonn • Alemania

Dag-Hammarskjöld-Weg 1-5
65760 Eschborn • Alemania

Nombre del proyecto:
Fomento de la Energía Solar en Chile
(Enfoque en Tecnologías de Concentración Solar)

Marchant Pereira 150
7500654 Providencia
Santiago • Chile
T +56 22 30 68 600
I www.giz.de

Responsable:
Rainer Schröer / Rodrigo Vásquez

En coordinación:
Ministerio de Energía de Chile
Alameda 1449, Pisos 13 y 14, Edificio Santiago Downtown II
Santiago de Chile
T +56 22 367 3000
I www.minenergia.cl

Título:
Análisis y diagnóstico de experiencias de plantas solares en Chile en operación y conectadas a la red
Foto: Centro de Energía

Autores:
Roberto Román
Jannik Haas
Gustavo Díaz
Centro de Energía
Tupper 2007 - piso 4
Santiago de Chile
www.centroenergia.cl

CENTRO DE ENERGÍA

Aclaración:
Esta publicación ha sido preparada por encargo del proyecto “Fomento de la Energía Solar” implementado por el Ministerio de Energía y Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH en el marco de la cooperación intergubernamental entre Chile y Alemania. El proyecto se financia a través de la Iniciativa Alemana de Tecnología para la mejora del Clima (DKTI) del Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza, Obras Publicas y Seguridad Nuclear (BMUB). Sin perjuicio de ello, las conclusiones y opiniones de los autores no necesariamente reflejan la posición del Gobierno de Chile o de GIZ. Además, cualquier referencia a una empresa, producto, marca, fabricante u otro similar en ningún caso constituye una recomendación por parte del Gobierno de Chile o de GIZ.

Santiago de Chile, 20 de Octubre de 2014

Resumen ejecutivo

El presente estudio consiste en documentar la experiencia en el desarrollo de los proyectos solares instalados en Chile. Los objetivos particulares incluyen la identificación de los problemas, dificultades o barreras que enfrentaron estos proyectos. Este estudio incluye el análisis de 9 de los 14 parques solares fotovoltaicos que actualmente se encuentran operando e inyectando al sistema interconectado de energía eléctrica, más tres parques termosolares que aportan energía calórica procesos mineros.

Para realizar el estudio se realizaron visitas a los parques solares y se realizaron entrevistas a los y las encargados/as en sus respectivas oficinas. Los datos obtenidos fueron sistematizados y anonimizados para luego ser discutidos con expertos del SERC Chile[1], junto con los cuales se elaboraron propuestas que buscan solucionar los problemas encontrados.

Dentro de los problemas principales que se repiten para la mayoría de los proyectos estudiados, destacan: i) la dificultad de financiamiento; ii) duración de los trámites con las instituciones gubernamentales; iii) el desafío de trabajar bajo estándares de seguridad mineros; iv) la carencia de mano de obra local, tanto en calidad como en cantidad, como también la falta de insumos locales y nacionales; v) la suciedad sobre las superficies colectoras y sus implicancias en la operación; y vi) conexión a red eléctrica y capacidad en líneas de transmisión. Estos problemas impactan al plazo de ejecución, flujo de caja, operación de los proyectos, y al valor de éstos en la región. Los problemas detectados no son propios de la tecnología solar sino más bien del contexto eléctrico nacional. Particularmente crítico es la capacidad limitada de transmisión y de las subestaciones, que en el corto plazo podrían restringir el desarrollo solar.

Las soluciones generales que se proponen frente a estos problemas son respectivamente: i) promover licitaciones de terrenos clave, potenciar la participación del Banco Estado y suscitar asociatividad entre empresas solares; ii) simplificar los trámites para proyectos de características similares y/o ya aprobados; iii) preferir instalaciones externas a operaciones mineras o bien planificar debidamente el proyecto bajo el estándar minero; iv) la creación de un Clúster Solar que potencie la industria y mano de obra local; v) apoyo a la Plataforma Solar de Atacama para fomentar la investigación en soluciones ideales para Atacama en donde Chile agrega valor a tecnología solar; vi) cambios regulatorios para agilizar la conexión a la red y promover la generación distribuida hasta que los cuellos de botella de la transmisión sean resueltos.

Por último, se identifican como líneas de investigación estudiar la suciedad sobre elementos de una planta solar, el rendimiento de módulos de capa fina en Atacama, la sinergia entre minería y energía solar en Chile, y los sistemas de almacenamiento para la integración masiva de energía solar en Chile.

[1] SERC Chile: Solar Energy Research Centre

Contenido del informe

RESUMEN EJECUTIVO **3**

LISTADO DE ABREVIATURAS UTILIZADAS EN ESTE INFORME **5**

1. INTRODUCCIÓN **6**

4. ANTECEDENTES **9**

4.1. INSTALACIONES PRINCIPALES 9
4.2. DEFECTOS FRECUENTES EN SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS 16

5. METODOLOGÍA **18**

5.1. ACTIVIDADES **18**

5.2. CARTA GANTT 20

6. DESARROLLO DEL ESTUDIO **21**

6.1. INTRODUCCIÓN 21
6.2. DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES PRINCIPALES 21
6.2.1. Características básicas de las instalaciones principales 21
6.2.2. Ubicación de instalaciones principales 22
6.2.4. Duración de los proyectos solares 29
6.2.5. Terremotos, heladas, roedores y aves 29
6.2.6. Defectos frecuentes 29
6.3. GENERALIDADES DE LAS BARRERAS, DIFICULTADES Y PROBLEMAS DIAGNOSTICADOS 31
6.4. BARRERAS, DIFICULTADES Y PROBLEMAS DE LA FASE DE PLANIFICACIÓN Y FACTIBILIDAD 33
6.4.1. Conexión a red 33
6.4.2. Trámites con instituciones públicas 34
6.4.3. Financiamiento 35
6.4.4. Déficit Capital Humano 36
6.4.5. Concesiones mineras 37
6.4.6. Ritmo minero 38
6.5. BARRERAS, DIFICULTADES Y PROBLEMAS DE LA FASE DE CONSTRUCCIÓN Y EQUIPAMIENTO 39
6.5.1. Aduana e internación 39
6.5.2. Déficit Capital Humano 39
6.5.3. Insuficiencia de insumos a nivel regional 39
6.5.4. Instalación de estructuras de soporte estructural 40
6.5.5. Estándares mineros de seguridad 41
6.6. BARRERAS, DIFICULTADES Y PROBLEMAS DE LA FASE DE PUESTA EN SERVICIO 41
6.7. BARRERAS, DIFICULTADES Y PROBLEMAS DE LA FASE OPERACIÓN Y MANTENCIÓN 41
6.7.1. Operación del Sistema Eléctrico de Potencia 42
6.7.2. Déficit Capital Humano 42
6.7.3. Suciedad 42
6.8. RECOMENDACIÓN GENERAL 45
6.9. TENDENCIAS 46
6.9.1. Corto y mediano plazo (limitada capacidad de transmisión) 46
6.9.2. Largo plazo (ajuste entre la generación solar y demanda energética) 48
6.10. RESUMEN Y CONCLUSIONES 49
6.10.1. Resumen de barreras 49
6.10.2. Conclusiones 52

7. BIBLIOGRAFÍA **54**

Listado de abreviaturas utilizadas en este informe

ACESOL	Asociación Chilena de Energía Solar
ASEXMA	Asociación de Exportadores de Manufacturas
ASOEX	Asociación de Exportadores de Fruta
BNE	Balance Energético Nacional
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CFC	Clorofluorocarbono
CIFES	Centro Nacional para la Innovación y Fomento de las Energías Sustentables
COCHILCO	Comisión Chilena del Cobre
CORFO	Corporación de Fomento a la Producción
DIRECON	Dirección General de Relaciones Económicas Internacionales del Gobierno de Chile
EDR	Estrategias de Desarrollo Regional
EE	Eficiencia Energética
ERNC	Energías Renovables no Convencionales
ESCO	Energy Services Company, contratos de desempeño energético
FOB	Cláusula de comercio internacional, que indica que el vendedor entrega la mercancía a bordo del buque
FOGAEE	Fondo de Garantía de Eficiencia Energética
FV	Fotovoltaico
GEI	Gases Efecto Invernadero
GLP	Gas Licuado del Petróleo
GN	Gas Natural
HCFC	Hidroclorofluorocarbono
IEA	Agencia Internacional de Energía
INDAP	Instituto de Desarrollo Agropecuario
ISO	Organización Internacional de Normalización
PAS	Norma para la medición de huella de carbono
PMM	Precio Medio de Mercado
PRIEN	Programa de Estudios e Investigaciones en Energía
SACH	Sistema Armonizado Chileno, Códigos Arancelarios
SIC	Sistema Interconectado Central
SII	Servicio de Impuestos Internos
SING	Sistema Interconectado del Norte Grande
SMRS	Sistema de Reporte y Medición Sustentable
SOFOFA	Sociedad de Fomento Fabril
SST	Sistemas Solares Térmicos
TIR	Tasa Interna de Retorno
TSC	Consorcio de sustentabilidad
VAN	Valor Actual Neto
WBCSD	Consejo Empresarial Mundial de Desarrollo Sostenible
WRI	Instituto de Recursos Mundiales

1. Introducción

Las plantas solares se pueden clasificar según el tipo de energía secundaria en centrales eléctricas y térmicas. La tecnología fotovoltaica (FV), incluyendo concentración fotovoltaica (CPV) y los discos Stirling son ejemplos del primer tipo, mientras que colectores de placa plana (PP), tubos de vacío, concentración por cilindro parabólico (CST), por lentes Fresnel o por torre central son ejemplos del segundo tipo. Si la temperatura alcanzada por la energía solar térmica es suficientemente elevada, es posible acoplar una máquina de calor para la generación de electricidad (CSP). Si en este caso además se aprovecha la energía calórica del foco frío se habla de cogeneración solar.

El desarrollo de plantas fotovoltaicas de gran escala en Chile comienza a acelerar en el año 2012, cuando en junio de ese año se pone en marcha la primera planta fotovoltaica industrial del país, Calama Solar 3 (1 MWe), ubicada en la región de Antofagasta. Desarrollada y construida por la empresa española Solarpack para la Corporación Nacional Del Cobre de Chile (CODELCO), es la primera planta solar en conectarse al Sistema Interconectado del Norte Grande (SING). Luego de seis meses, la primera planta en conectarse al Sistema Interconectado Central (SIC) es la planta fotovoltaica Tambo Real (1 MWe), ubicada en la región de Coquimbo. Referente a la tecnología CPV existe una instalación de prueba de 60 kWe en la mina El Tesoro, instalada el 2013.

Paralelo al desarrollo fotovoltaico comienza también el año 2012, la instalación de plantas termo solares dedicadas a aportar calor a procesos mineros. La primera en operar es la planta termo solar Pukara de Hatur (220 kWt), ubicada en la región de Antofagasta. Esta planta fue desarrollada, instalada y operada por la empresa Enermine, con el objetivo de suplir calor al proceso de calentamiento de electrolito en la Minera Constanza.

En cuanto a la tecnología CSP, existe actualmente un proyecto en construcción, Cerro Dominador, por parte de Abengoa. Se trata de una torre solar de ciclo Rankine de vapor de 110 [MWe] con almacenamiento de 17,5 horas, lo que permitirá alcanzar factores de planta similares a cualquier central térmica con combustible fósil. Además, la central contempla incluir una granja fotovoltaica de 100 [MWe]. Este proyecto se ubica en la región de Antofagasta, en la comuna de María Elena, cercano a la ciudad de Calama [1].

Es en estas dos líneas tecnológicas que Chile ha avanzado a partir del año 2012. Actualmente (octubre 2014), existen 160 proyectos de energía solar ingresados al Sistema de Evaluación Ambiental (SEA), de los cuales 107 están aprobados lo que equivale a 6.440 [MWe] de potencia bruta, y 29 se encuentran en calificación sumando aproximadamente otros 4.200 [MWe]. Dentro de los 73 proyectos aprobados hay dos que corresponden a la tecnología CSP que suman 760 [MWe] (adicionales al proyecto Cerro Dominador). Por otro lado hay 18 proyectos fotovoltaicos en construcción, los que aportarán 1570 [MWe] a los sistemas interconectados SIC y SING. En operación se cuenta con 15 plantas solares fotovoltaicas mayores a 1 [MWe] sincronizadas con el sistema interconectado, las que aportan actualmente 224 [MWe], y al menos tres plantas termo solares que totalizan 42 [MWt] a procesos mineros [2], [3], [4].

El desarrollo de la tecnología solar se concentra en el norte de Chile, principalmente porque el recurso es abundante, pero también porque existen numerosos puntos de consumo asociados a la actividad minera. Esto facilita tanto el acceso a diversos puntos remotos del desierto, como también a líneas de transmisión preexistentes. Este argumento explica además la fuerte competencia por los puntos de conexión por parte de los proyectos aprobados, habiendo actualmente un intensa aglomeración de éstos alrededor de los puntos de conexión existentes.

El entorno del Desierto de Atacama es particular y único en el mundo. Su clima es desértico de altura con una amplia oscilación térmica y, si bien es el lugar más seco del mundo [5], es frecuente la presencia de una densa niebla costera conocida como camanchaca, la cual puede encontrarse entre la superficie terrestre y la capa de inversión térmica, cuya altura fluctúa entre los 1000 y 1500 metros en el norte de Chile [6], [7]. Las limitadas precipitaciones registradas suelen estar asociadas a lo que se conoce como Invierno Andino (también llamado Invierno Altiplánico o Invierno Boliviano), el cual consiste en la interacción entre masas de aire provenientes desde la región del Amazonas y desde la Cordillera de Los Andes durante los meses de diciembre y marzo [8].

Por otro lado, bajas tasas de precipitación contrastantes con altas tasas de evaporación generan abundantes salares en este desierto. Los salares en conjunto con la cercanía al océano Pacífico influyen en la atmósfera regional, marcando una tendencia alcalina de los suelos [9]. En algunas zonas del desierto, donde el suelo es rico en nitratos, el orden descendente de capas es así: primero se encuentra una capa de polvo fino e hidrófugo formado por yeso, arcilla y fragmentos de roca, entre 10 y 30 cm de espesor. Esta capa es denominada Chusca o Chuca, suele ser causante de problemas a los equipos mecánicos. A esta capa le sigue una capa más dura y cementada de espesor entre 0.5 a 2 m, llamada Costra. Debajo de la costra es posible encontrar Caliche, capa altamente cementada rica en nitratos. Luego sigue una capa poco cementada denominada Coba, con bajo contenido de nitrato [9]. La presencia de fuentes salinas y de suciedad, como los salares y la chusca, respectivamente, pueden incidir negativamente sobre el rendimiento, periodos de mantención y la vida útil de los equipos utilizados en proyectos solares.

Por otro lado, no es casualidad que una gran cantidad de proyectos astronómicos australes se desarrollen en esta región, ya que la claridad de los cielos en combinación con la baja tasa de nubosidad genera un ambiente propicio para la observación astronómica. Entiéndase claridad del cielo como una baja resistencia de la atmósfera para el traspaso de la luz y del calor, tanto desde fuera como desde dentro de la Tierra. Observando esta característica para el calor, se destaca el fenómeno de radiación térmica hacia fuera de la Tierra durante la noche, lo que produce que las superficies que miran hacia el cielo puedan perder calor fácilmente, lo cual se conoce como radiación terrestre. Esto puede provocar que el cuerpo alcance temperaturas incluso por debajo que las marcadas por un termómetro atmosférico.

En este estudio se busca rescatar la experiencia en el desarrollo y funcionamiento de las plantas solares existentes en el Desierto de Atacama. Se pretende identificar posibles problemas que hayan tenido en todas las etapas del proyecto y buscar o documentar soluciones.

En adición a los defectos frecuentes de instalaciones solares ya documentados en la literatura, se pretende enfocar la observación hacia las condiciones particulares que el desierto, el ambiente minero, el mercado eléctrico nacional y la institucionalidad de gobierno ofrecen para el desarrollo de parques solares. El propósito es acelerar el desarrollo de proyectos solares en esta zona geográfica que ofrece condiciones de recurso solar y demanda energética muy favorables a nivel mundial.

2. Objetivos y alcances de la consultoría

El objetivo del proyecto es recopilar información sobre la experiencia de las primeras plantas solares de gran escala (fotovoltaicas y térmicas) operativas en el norte de Chile. Con esto se espera detectar problemas y dificultades ocurridas durante la gestión, diseño, instalación, puesta en servicio y operación de los proyectos, para luego proponer recomendaciones que permitan agilizar el desarrollo de la energía solar en el país.

En la fase de gestión y diseño de proyectos se analizarán problemas relacionados con la concesión de usos de suelo, obtención de permisos sectoriales, declaración de impacto ambiental, datos base de diseño del proyecto, ubicación y servidumbre de líneas de transmisión y la capacidad de conexión a un sistema interconectado. Referente a los problemas de la fase de instalación, se estudiarán las barreras propias del ciclo de importaciones, la logística de suministro de componentes, capacidad para ingeniería, mano de obra, disponibilidad de máquinas especializadas y normas de seguridad. Finalmente, durante las etapas de puesta en servicio y operación, se explorarán fuentes de suciedad, tales como el polvo y neblinas ácidas, limpieza de superficies colectoras y la inserción de las plantas solares en el sistema eléctrico interconectado o en otros procesos existentes propios de la minería.

3. Descripción de las fuentes de información

Durante el estudio se recurre a las siguientes fuentes públicas de información disponibles en línea:

- CDEC-SIC: Centro de Despacho Económico de Carga (CDEC) del Sistema Interconectado Central (SIC). Organismo encargado de coordinar la operación de las instalaciones eléctricas preservando la seguridad y calidad de servicio. El SIC se extiende desde la barra de Paposo por el norte (segunda región) hasta la isla grande de Chiloé por el sur (décima región) (CDEC-SIC, 2013).

- CDEC-SING: CDEC del Sistema Interconectado del Norte Grande (SING). Organismo encargado de coordinar la operación de las instalaciones eléctricas preservando la seguridad y calidad de servicio. El SING abarca el territorio comprendido entre las regiones de Arica-Parinacota, Tarapacá y Antofagasta (CDEC-SING, 2013).

- SEA: Servicio de Evaluación Ambiental, corresponde a uno de los principales instrumentos gubernamentales para prevenir el deterioro ambiental. Este instrumento permite introducir la dimensión ambiental en el diseño y la ejecución de los proyectos y actividades que se realizan en el país; a través de él se evalúa y certifica que las iniciativas, tanto del sector público como del sector privado, se encuentran en condiciones de cumplir con los requisitos ambientales que les son aplicables.

Por otro lado se aplican entrevistas a dueños, instaladores, proyectistas y operadores de plantas solares. También se consultan a expertos del SERC[2].

[2] Chilean Solar Energy Research Center (SERC), clúster de investigación liderado por el Centro de Energía de la Universidad de Chile, cuyo objetivo es erigirse en un líder mundial en investigación científica sobre Energía Solar, con especial énfasis en desarrollar el potencial del desierto de Atacama en Chile. Los expertos consultados son, entre otros, Rodrigo Palma y Manuel Díaz.

4. Antecedentes

4.1. Instalaciones principales

Los proyectos solares o instalaciones principales que se diagnosticarán en el presente estudio se detallan en la **Tabla 1**. Éstas son las que poseen un mayor tiempo de operación en Chile.

Tabla 1: Resumen de proyectos solares de Chile a diagnosticar en el presente estudio

ID	Nombre	Tecnología	Potencia	Sistema	Inversión [MU$]	Entrada en operación
1	Pampa Elvira Solar	Placa plana	32,20 MW_t	Isla	26	19-08-2013
2	El Tesoro	CST	10,00 MW_t	Isla	15	02-01-2013
3	Pukara de Hatur	Placa plana	0,22 MW_t	Isla	0,4	01-12-2012
4a	Pozo Almonte Solar 2	FV	7,50 MW_e	SING	40	29-03-2014
4b	Pozo Almonte Solar 3	FV	16,00 MW_e	SING	71	07-06-2014
5	Calama Solar 3	FV	1,00 MW_e	SING	3,5	13-06-2012
6	Esperanza	FV	2,88 MW_e	SIC	7	20-12-2013
7	Andacollo	FV	1,26 MW_e	SIC	2	01-07-2013
8	San Andrés	FV	50,33 MW_e	SIC	120	12-02-2014
9	Amanecer	FV	100,00 MW_e	SIC	241	13-01-2014
10	La Huayca I	FV	1,40 MW_e	SING	65	01-10-2012
11	Tambo Real	FV	1,20 MW_e	SIC	3	12-12-2012
12	Diego de Almagro	FV	36,00 MW_e	SIC	130	26-05-2014

Figura 1: Planta térmica Pampa Elvira Solar. Fuente: Codelco

Figura 2: El Tesoro. Fuente: propia

Figura 3: Concentración fotovoltaica en El Tesoro. Fuente: propia

Figura 4: Pukara de Hatur. Fuente: Enermine

Figura 5: Pozo Almonte Solar 3. Fuente: propia

Figura 6: Calama Solar 3. Fuente: propia

Figura 6: Esperanza. Fuente: propia

Figura 8: Andacollo. Fuente: revistaei.cl

Figura 7: San Andrés. Fuente: propia

Figura 8: Amanecer Solar. Fuente: propia

Figura 11: La Huayca. Fuente: propia **Figura 9: Tambo Real. Fuente: elquiglobal.cl**

Figura 10: Tambo Real. Fuente: elquiglobal.cl

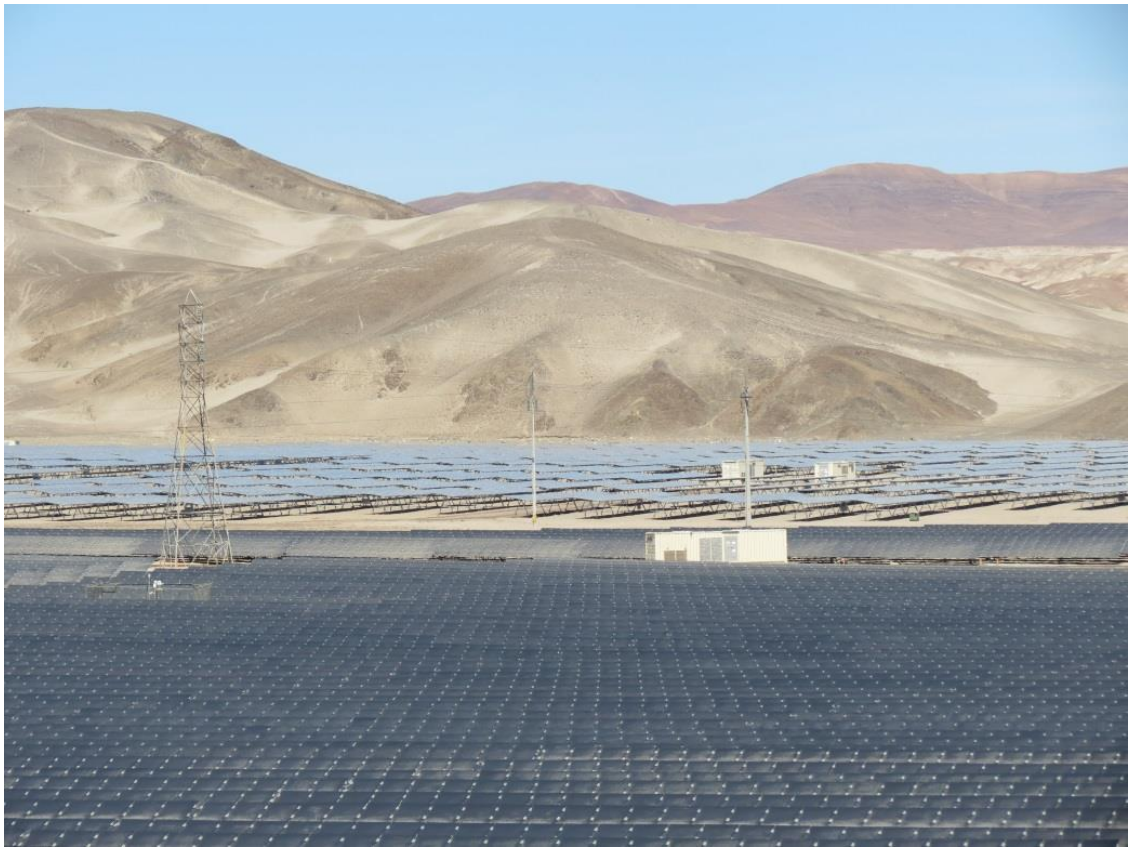

Figura 11: Diego de Almagro. Fuente: propia

4.2. Defectos frecuentes en sistemas solares térmicos

De acuerdo a D. F. A. Peuser, K.-H. Remmers y M. Schnauss (Peuser, Remmers, & Schnauss, 2005) , establecen una serie de defectos frecuentes en sistemas solares térmicos, los cuales son detallados en la **Tabla 2**. Este listado se utiliza como referencia base para inspeccionar las instalaciones del presente estudio.

Tabla 2: Problemas comunes en sistemas solares térmicos

Problema	Sistema
Fugas en el circuito primario	Tubería del circuito primario
Daños del aislamiento de tuberías exteriores	Tubería del circuito primario
Lámina de plástico secundaria hendida	Captadores
Condensado en el captador	Captadores
Cubierta del captador rota/hendida	Captadores
Descoloración de la cubierta del captador	Captadores
Descoloración del absorbedor	Captadores
Corrosión de la superficie del absorbedor	Captadores
Fuga en el absorbedor	Captadores
Vaso de expansión defectuoso	Otros componentes del circuito primario
Insuficiente purga de aire del circuito primario	Otros componentes del circuito primario
Daño de la bomba	Otros componentes del circuito primario
Controles defectuosos	Otros componentes
Fuga en la cubierta	Otros componentes
Fuga en el acumulador	Acumulador
Corrosión del acumulador	Acumulador
Escape del fluido de trabajo o vapor	Tubería del circuito primario
Congelamiento del fluido caloportador	Circuito primario

4.3. Defectos frecuentes en sistemas solares fotovoltaicos

Según J. P. Dunlop (Dunlop, 2010) los defectos frecuentes en los sistemas solares fotovoltaicos son los mostrados en la **Tabla 3**. Este listado se utiliza como referencia base para inspeccionar las instalaciones del presente estudio.

Tabla 3: Problemas comunes en sistemas solares fotovoltaicos

Problema	Sistema
Fractura o daño en las cubiertas	Paneles
Separación de las cubiertas externas (vidrio o plástico) que encapsulan la célula FV.	Paneles
Descoloración o burbujas en la lámina	Paneles
Conexiones a tierra corroídas	Cableado eléctrico
Conexiones quemadas	Cableado eléctrico
Conexiones deformadas	Cableado eléctrico
Degradación de semiconductores	Paneles
Degradación UV de paneles, conductores y otras componentes	Paneles
Bajo rendimiento o apagado de inversor por elevada temperatura	Conversión DC-AC
Pérdida de eficiencia de los paneles	Paneles, Conversión DC-AC
Corrosión o daño en estructuras de soporte y canalizaciones eléctricas	Estructuras de soporte, Transporte de energía
Daño en paneles por efecto de punto caliente	Paneles
Daño en diodos bypass	Paneles

5. Metodología

5.1. Actividades

El estudio consiste de cinco actividades, descritas a continuación.

A1. Catastro de información

A1.1. Recopilación de las siguientes características de las instalaciones incluidas en el estudio: Nombre; Tecnología solar utilizada; Potencia instalada (MW_t y/o MW_e); Empresa encargada del diseño; Empresa encargada de la instalación; Empresa encargada de la operación; Empresa dueña de la planta; Región, provincia y comuna de emplazamiento; Ubicación geográfica [latitud, longitud]; Insolación anual [kWh/m^2] e irradiancia máxima [W/m^2]; Fecha entrada en operación; Inversión estimada; Sistema y subestación de inyección (para sistemas fotovoltaicos); Generación anual estimada; Fracción solar (para sistemas térmicos); Modelo de negocio (ej. PPA, operación propia, etc.); Principal comprador de energía.

A1.2. Ubicación de proyectos en mapa georreferenciado con despliegue de detalles. Esta lista incluye los proyectos solares en operación contemplados en este estudio como también los no contemplados, además de los proyectos solares que han pasado por el SEA y que estén aprobados, en calificación y en construcción.

A2. Actividades previas

A2.1. Catastro de los datos de contacto de los encargados responsables del acceso y/u operación de cada instalación principal.

A2.2. Generar el contacto inicial con encargados responsables para informar objetivo del presente estudio y averiguar su posición respecto a colaborar con el proyecto, particularmente en las visitas a terreno.

A3. Recopilación de datos

A3.1. Desarrollo de un cuestionario estilo lista de chequeo para el trabajo en terreno. La elaboración de éste se retroalimenta mediante consultas a especialistas del SERC.

A3.2. Programación de las visitas en terreno en dos salidas. Una a las regiones de Tarapacá y Antofagasta; la otra a las regiones de Atacama y Coquimbo.

A3.3. Ejecución de las visitas a terreno y la aplicación del cuestionario. Inspección de las instalaciones y recolección de evidencia fotográfica. Los puntos específicos a considerar son: efecto del medio ambiente sobre las instalaciones solares, efecto del polvo y operaciones mineras, entre otras.

A3.4. Elaboración de cuestionario para entrevista de oficina. La elaboración de éste se retroalimenta de las visitas a terreno y de consultas a especialistas del SERC[3].

A3.5. Reuniones con los encargados para entrevistas basadas en el cuestionario.

[3] SERC: Solar Energy Research Center

A4. Procesamiento y análisis

A4.1. Sistematización de resultados del cuestionario para análisis del mismo.

A4.2. Sistematización de resultados de la inspección en terreno para análisis de la misma.

A4.3. Análisis de las dificultades detectadas por otros medios.

A4.4. Compilación de los puntos anteriores para enviar a consulta de expertos SERC.

A4.5. Procesamiento de las soluciones anteriores. Elaboración de recomendaciones para el diseño, operación y buenas prácticas de instalaciones solares en Chile.

A4.6. Elaboración de conclusiones del estudio.

5.2. Carta Gantt

En la **Tabla 4** se detalla la programación temporal de las actividades anteriormente descritas.

Tabla 4: Carta Gantt del proyecto

Actividad/Mes	Julio		Agosto				Septiembre				Octubre		
1 Catastro de información básica													
2 Actividades previas 2.1 Contacto inicial 2.2 Confirmación a participar en estudio													
3 Recopilación de datos en terreno 3.1 Desarrollo de cuestionario específico para visita a terreno 3.2 Planificación de visitas a terreno 3.3 Ejecución de visitas a terreno 3.4 Elaboración de cuestionario para reuniones 3.5 Entrevista encargados responsables													
4 Procesamiento y análisis de información 4.1 Análisis de respuesta de cuestionario 4.2 Análisis de problemas detectados en terreno 4.3 Análisis de dificultades detectadas por otros medios 4.4 Compilación de dificultades detectadas para envío a expertos SERC 4.5 Procesamiento de soluciones y recomendaciones 4.6 Conclusiones													
5 Reportes 5.1 Reporte de avance 5.2 Reporte final													

6. Desarrollo del estudio

6.1. Introducción

La información recopilada en este estudio procede de fuentes públicas en línea detalladas anteriormente, de las visitas a terreno y las entrevistas de oficina realizadas a los y las encargados/as directos/as de cada parque solar.

Tras la fase de revisión bibliográfica y las entrevistas iniciales se desarrolla un cuestionario para las visitas a terreno y otro para la entrevista con los encargados responsables de cada planta, para permitir la recopilación estructurada de la información. De la visita a terreno se levanta la experiencia relacionada a la construcción, operación y mantención de los parques. Por otro lado, en la entrevista de oficina se levantan datos vinculados con la etapa de diseño del parque, en particular respecto a los procesos de búsqueda de financiamiento, permisos y trámites con entes gubernamentales, logística e ingeniería de la construcción y proyecciones de operación a futuro. Luego, estos datos son procesados y junto a expertos del SERC se proponen soluciones frente a las barreras detectadas.

La sección 6.2 muestra las instalaciones principales con sus características básicas, ubicación, indicadores clave, duración de sus fases relevantes, efecto por terremotos, heladas, roedores y aves, y defectos frecuentes. La sección **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** despliega las generalidades de las barreras, dificultades y problemas detectados. Las secciones 6.4, 6.5, 6.6 y 6.7 detallan estos desafíos junto a las soluciones propuestas para las fases de planificación y factibilidad, construcción y equipamiento, puesta en servicio, y operación y mantención, respectivamente. Mientras que la sección 6.8 propone recomendaciones generales, la sección 0 relata la tendencia de las problemáticas. Finalmente, la sección 6.10 exhibe el resumen y las conclusiones.

6.2. Descripción de las instalaciones principales

En esta sección se muestran las descripciones y detalles de las instalaciones principales a analizar en el estudio. .

6.2.1. Características básicas de las instalaciones principales

La **Figura 12** muestra la línea de tiempo de las instalaciones principales, junto con sus características principales: nombre de planta, tecnología de la instalación, capacidad instalada, tipo de sistema de seguimiento, ubicación referencial, y la empresa dueña de la instalación. La fecha de entrada en operación fue obtenida de los CDEC (CDEC-SIC, 2013), (CDEC-SING, 2013) para las centrales fotovoltaicas y de noticias de las empresas dueñas para las térmicas (Codelco, 2013), (Abengoa, 2013), (Enermine, 2012).

A modo de aclaración se comenta que el proyecto La Huayca se divide en dos fases, inicialmente La Huayca con RCA[4] para 9 MW_e y una posterior expansión hasta 30 MW_e. De la primera fase sólo se conectó con 1,4 MW_e en octubre de 2012, complementando los otros 7.6 MW_e en mayo de 2014. La capacidad correspondiente a la expansión, si bien se encuentra

[4] RCA: Resolución de Calificación Ambiental

aprobada y construida, aún no inyecta potencia al sistema. Por otro lado, los proyectos de Pozo Almonte son 3; el primero se encuentra en carpeta, el segundo de 7,5 MW_e finalizó en marzo de 2014 y el tercero de 16 MW_e en junio de 2014. Diego de Almagro de 36 MW inyecta desde mayo de 2014, sin embargo hasta la fecha quedan 4 MW_e por construir. El proyecto Tambo Real inauguró su ampliación (fase II) de 2 MW_e en junio de 2014, sumando en total 3,2 MW_e de potencia instalada.

6.2.2. Ubicación de instalaciones principales

La **Figura 15** muestra la ubicación de los proyectos solares en Chile. La figura de la izquierda muestra las centrales en operación, la mayoría forma parte del presente estudio, mientras que la figura central indica las centrales en construcción y la derecha aquéllas ya aprobadas por el SEA. La ubicación además se entrega en forma tabular en la **Tabla 5**.

Tabla 5: Ubicación de proyectos solares

ID	Nombre	Subestación	Comuna	Provincia	Región	Latitud	Longitud
1	Pampa Elvira Solar	Gaby	Sierra Gorda	Antofagasta	II-Antofagasta	23°24'34.02"S	68°48'45.48"O
2	El Tesoro	El Tesoro	Sierra Gorda	Antofagasta	II-Antofagasta	22°55'40.17"S	69° 5'46.93"O
3	Pukara de Hatur	Constanza	Antofagasta	Antofagasta	II-Antofagasta	22°55'40.17"S	69° 5'46.93"O
4a	Pozo Almonte Solar 2	Central Solar PAS2	Pozo Almonte	Tamarugal	I-Tarapacá	23°28'2.94"S	70° 9'48.26"O
4b	Pozo Almonte Solar 3	Central Solar PAS3	Pozo Almonte	Tamarugal	I-Tarapacá	20°16'19.21"S	69°45'17.23"O
5	Calama Solar 3	S/I	Calama	El Loa	II-Antofagasta	20°16'19.21"S	69°45'17.23"O
6	Esperanza	El Salvador	Diego de Almagro	Chañaral	III-Atacama	22°25'31.12"S	68°51'32.33"O
7	Andacollo	Andacollo	Andacollo	Elqui	IV-Coquimbo	26°16'56.47"S	69°37'9.78"O
8	San Andrés	Propia	Copiapó	Copiapó	III-Atacama	30°13'37.95"S	71° 5'32.29"O
9	Amanecer	Propia	Copiapó	Copiapó	III-Atacama	27°15'7.91"S	70° 7'11.79"O
10	La Huayca I	Tamarugal	Pozo Almonte	Tamarugal	I-Tarapacá	27° 7'5.73"S	70°10'16.65"O
11	Tambo Real	S/I	Vicuña	Elqui	IV-Coquimbo	20°27'16.90"S	69°32'2.32"O
12	Diego de Almagro	Diego de Almagro	Diego de Almagro	Chañaral	III-Atacama	30° 2'18.64"S	70°39'14.80"O

*en caso de plantas térmicas se indica la mina a la cual entregan energía.

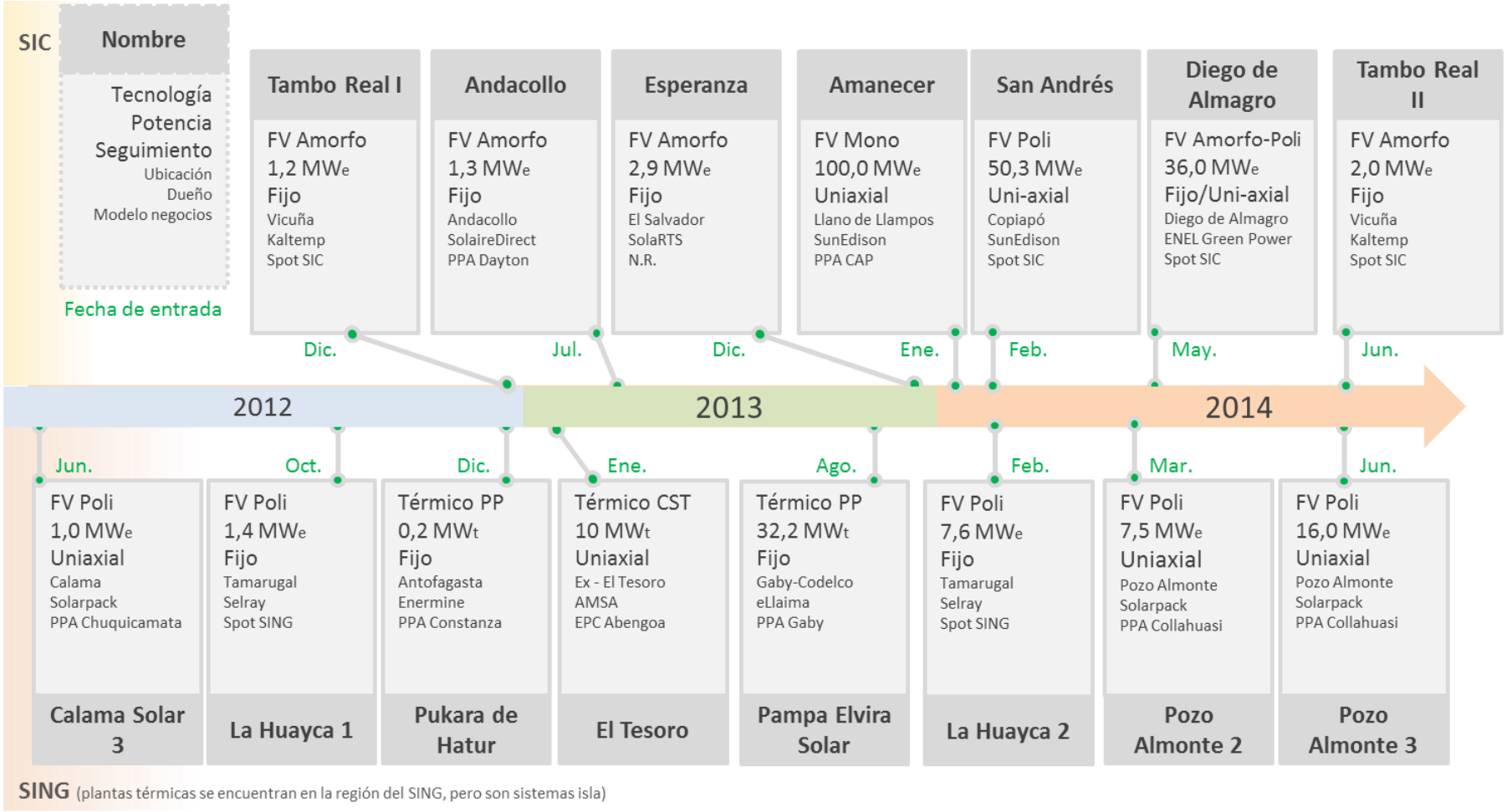

Figura 12: Línea de tiempo de las instalaciones principales y sus características

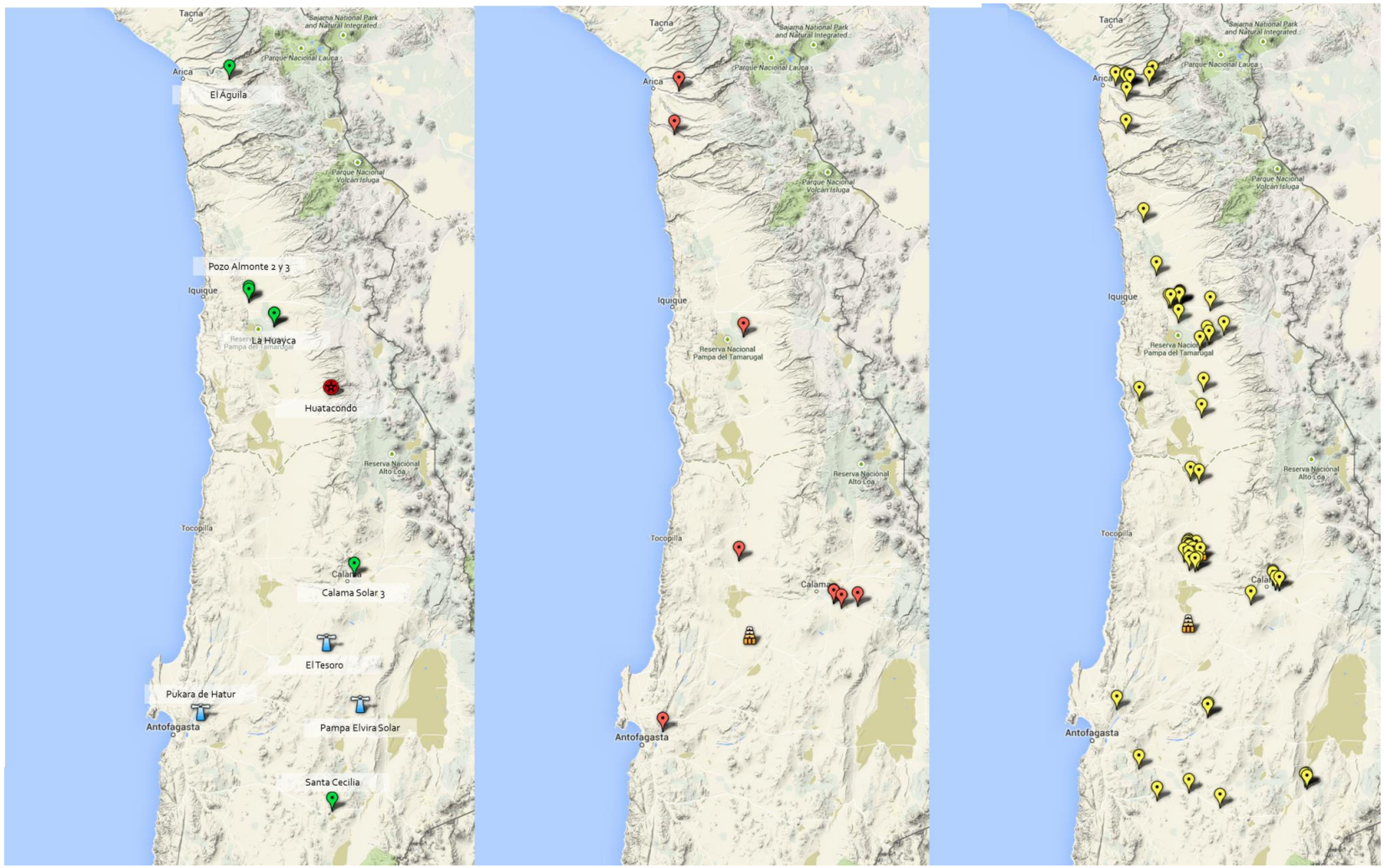

Figura 13: Proyectos solares Chile zona Arica-Antofagasta.
Izquierda: proyectos existentes Medio: Proyectos en construcción. Derecha: proyectos aprobados

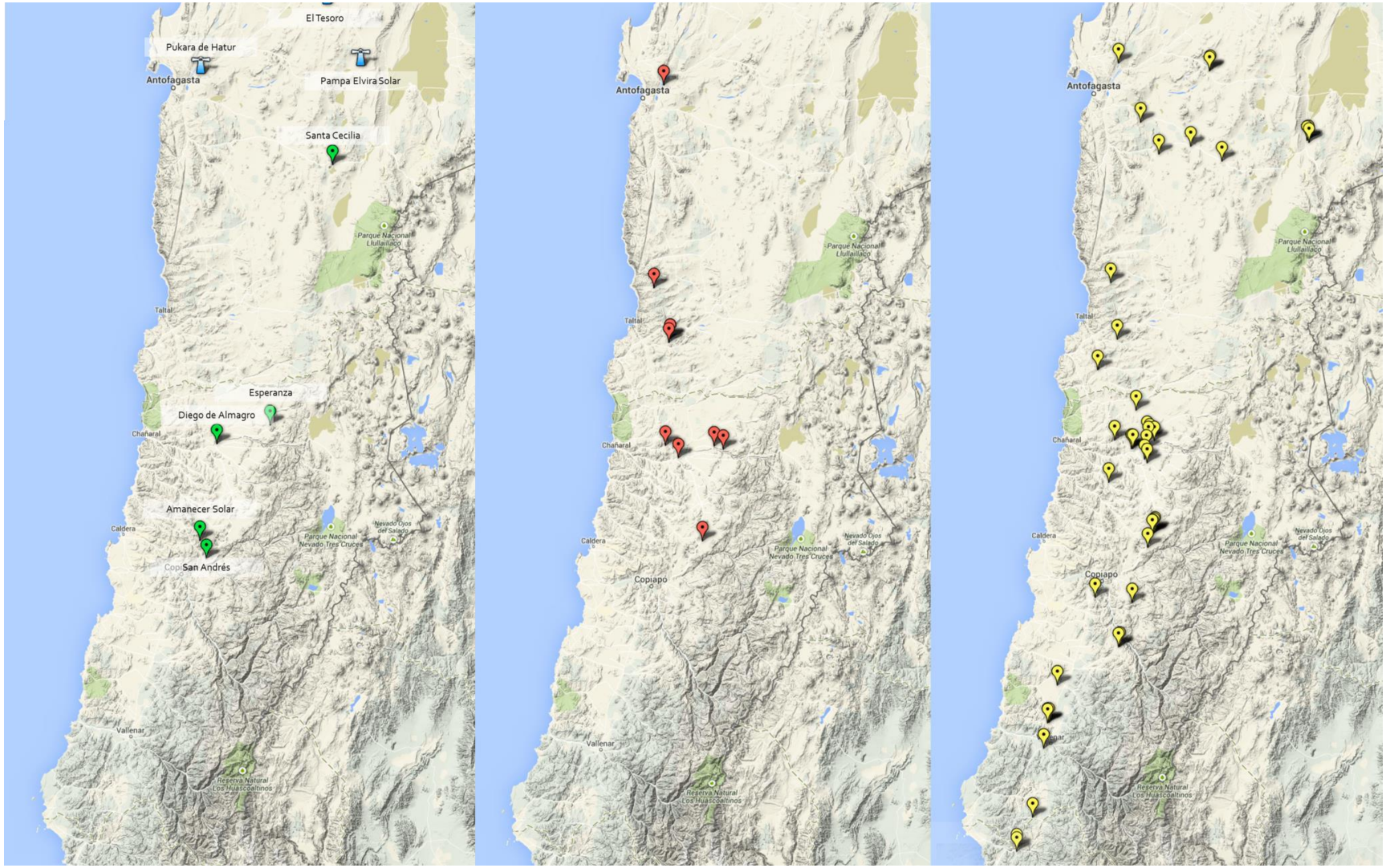

Figura 14: Proyectos solares Chile zona Antofagasta-Vallenar.
Izquierda: proyectos existentes Medio: Proyectos en construcción. Derecha: proyectos aprobados

Figura 15: Proyectos solares Chile zona Vallenar-Los Vilos
Izquierda: proyectos existentes Medio: Proyectos en construcción. Derecha: proyectos aprobados

6.2.3. Indicadores estadísticos de las instalaciones estudiadas

A continuación se presentan los principales indicadores de los parque solares estudiados, como la capacidad instalada por área (MW/ha), inversión por capacidad instalada (MUSD/MW), y el rendimiento energético por capacidad instalada de la planta (kWh/kW). Los datos son obtenidos del SEA y/o de las entrevistas realizadas en el presente estudio.

Tabla 6: Indicadores estadísticos de los parques solares estudiados

Indicadores	MW/ha	MMU$/MW	kWh/kW
Pampa Elvira Solar	0.36	0.84	1.61
El Tesoro	1.82	1.50	2.48
Pukara de Hatur	1.45	1.67	2.17
Pozo Almonte Solar 2 y 3	0.14	4.72	2.55
Calama Solar 3	0.18	3.18	2.45
Esperanza	0.29	2.42	2.26
Andacollo	0.66	1.59	1.90
San Andrés	0.37	2.39	S/I
Amanecer	0.29	2.50	2.70
Huayca I	0.22	1.43	1.91
Tambo Real	0.60	2.50	1.79
Diego de Almagro	0.30	1.39	2.36

A partir de los datos anteriores y la información respecto la frecuencia de limpieza por planta, se elabora el gráfico de cajas de la **Figura 16** para las plantas fotovoltaicas y el gráfico de barras de la **Figura 17** para las plantas termo solares. Respecto las plantas solares analizadas se observa que la densidad de potencia se ubica entre 0.14 y 0.66 MW/ha, siendo más densos los proyectos sin seguimiento. Las plantas termo solares presentan una densidad en torno a 1 MW/ha, con una excepción dada la gran holgura del terreno. En la inversión de plantas fotovoltaicas existe una dispersión entre 1.39 y 4.72 millones de USD por MW, mientras las térmicas fluctúan entre 0.8 y 1.7. En el rendimiento energético por capacidad instalada el rango se encuentra entre 1.79 y 2.7 y entre 1.6 y 2.5 kWh/kW para las tecnologías fotovoltaicas y térmicas, respectivamente, obteniendo las plantas con seguimiento el índice mayor. El rango de cantidad de limpiezas se ubica entre 0 (limpieza por lluvias) y 1.2, y entre 0.2 y 7 veces por mes para plantas FV y termo solares, respectivamente. Los mínimos se generan en zonas protegidas del polvo, mientras que los máximos son condicionados por una fuente de suciedad puntual. El consumo de agua es del orden de un par de litros de agua por m^2 en cada limpieza. Por políticas de confidencialidad de las empresas no se recopilaron datos duros de este indicador.

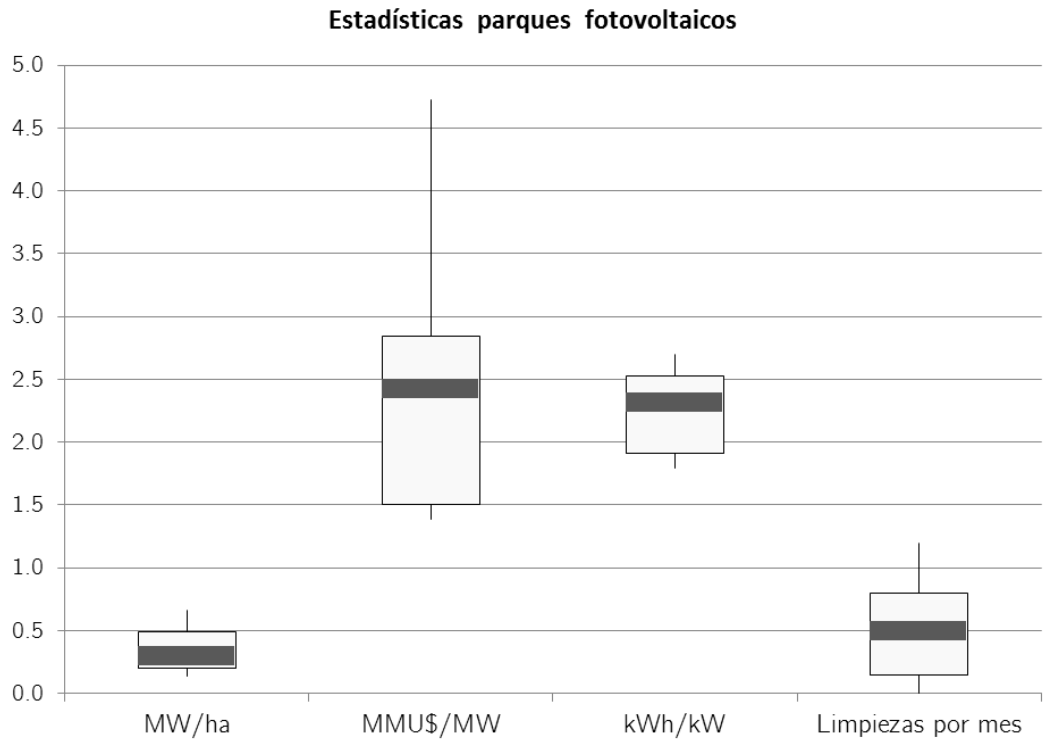

Figura 16: Indicadores de los parques fotovoltaicos estudiados

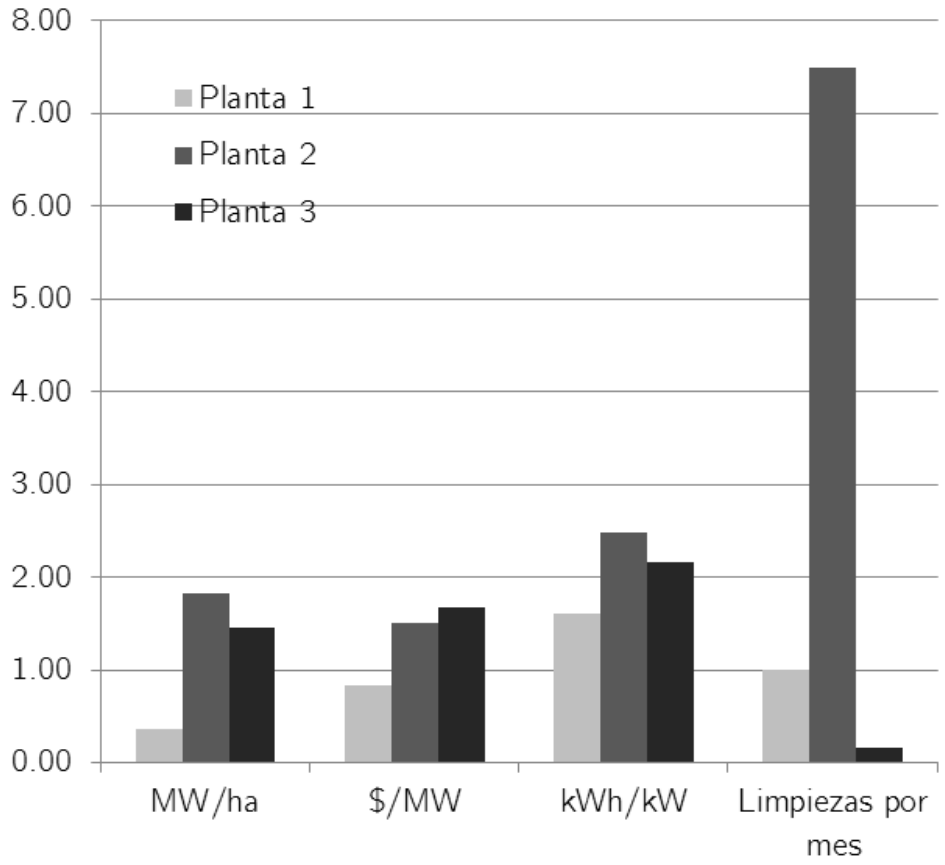

Figura 17: Indicadores de los parques termo solares estudiados

6.2.4. Duración de los proyectos solares

Dentro del estudio se realiza un análisis de todos los proyectos solares aprobados por el SEA. Este análisis engloba los proyectos aprobados y los compara con los proyectos en operación estudiados. La **Figura 18** presenta ambos conjuntos por separado. A la izquierda se presenta el rango de duración para los proyectos del presente estudio, mientras que a la derecha se incluyen todos los proyectos solares que han sido aprobados por el SEA. Si bien ambas muestras son parecidas, la primera se caracteriza por poseer una duración mínima mayor. Aquí podría evidenciarse una pequeña curva de aprendizaje desde los primeros proyectos tramitados por la institución hasta hoy.

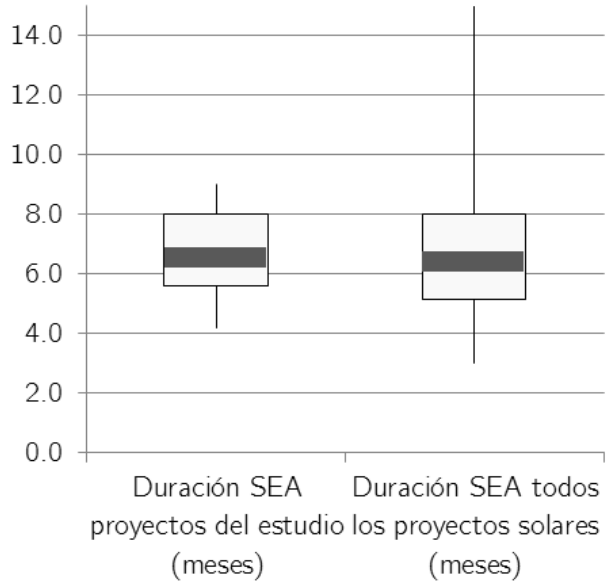

Figura 18: Duración de evaluación ambiental, de las instalaciones principales (duración de SEA contempla una lista de 110 proyectos solares aprobados entre 2011 y sept-2014)

6.2.5. Terremotos, heladas, roedores y aves

La presencia de roedores y aves en los proyectos estudiados es baja y no constituye un inconveniente. En las plantas analizadas no se detectaron problemas provocados por terremotos y heladas en la zona. De todos modos se recomienda tener precaución en las temperaturas mínimas que pueden ocurrir en el desierto de Atacama. Se evidenció que a los operadores extranjeros les había llamado la atención la rigurosidad de la norma sísmica nacional.

6.2.6. Defectos frecuentes

En relación a las listas de defectos frecuentes mencionadas en las secciones 4.2 y 0, se detectaron problemas asociados a fugas en el circuito primario en cañerías flexibles, condensados en el captador y vasos de expansión defectuosos en plantas térmicas; y fracturas en las cubiertas en plantas fotovoltaicas. Sin embargo, los primeros fueron reportados por las empresas como casos relacionados a eventos puntuales, mientras que los últimos están asociados a una indebida manipulación de los paneles en el proceso de instalación. En tanto,

esto es subsanable con una adecuada capacitación de los instaladores y consecuentemente no sería una barrera para el desarrollo de tecnologías solares en Chile.

En adición a estos efectos frecuentes, ya documentados en la literatura internacional, se han encontrado en este estudio diversas dificultades propias a la ejecución de proyectos solares en Chile. Éstas se detallarán en las secciones siguientes.

6.3. Generalidades de las barreras, dificultades y problemas diagnosticados

Los problemas y dificultades para desarrollar un parque solar FV o térmico se han agrupado según las siguientes fases de proyecto: planificación y factibilidad, construcción y equipamiento, puesta en marcha, y por último operación y mantenimiento. En todos los proyectos de este estudio, la fase de planificación y factibilidad es alrededor de cuatro veces más larga que la fase de construcción y equipamiento, y a su vez la fase de puesta en marcha es más reducida en tiempo que la fase de construcción.

Tabla 7: Cadena de valor de proyecto solar genérico junto a las sub-etapas de cada fase

Planificación y Factibilidad	Construcción y Equipamiento	Puesta en marcha	Operación y Mantenimiento
Medición del recurso solar	Tramitaciones para interconexión al Sistema Interconectado	Tramitaciones previas a la puesta en marcha	Operación de sistema
Evaluación y predicción del recurso solar	Servicio logístico y transporte de gran escala	Operación del parque solar e inyección de electricidad	Mantención / Reparación de sistemas
Estudios de topografía	Certificación de calidad de productos		Mantención / Reparación de equipos eléctricos, electrónicos y mecánicos
Estudio de suelo	Ingeniería de construcción de la planta		Capacitación y entrenamiento del personal
Estudio de localización	Montaje mecánico de precisión		
Estudios y asesorías ambientales	Instalación de equipos eléctricos y electrónicos		
Diseño del parque solar	ITO[5] de obras civiles		
Consultoría MDL[6]	ITO de obras eléctricas, electrónicas y mecánicas		
Estudios de factibilidad	Instalación de obras de conexión		
Estudios y servicios legales			
Financiamientos y seguros			
Estudio de conexión			

Los problemas y dificultades más repetitivos se describen en esta sección. En general, los problemas no están relacionados con la tecnología, si no con el entorno físico y regulatorio de

[5] ITO: Inspección Técnica de Obras

[6] MDL: Mecanismo de Desarrollo Limpio

Chile. La **Tabla 8** resume los problemas comunes de las plantas existentes, asociados a cada fase de proyecto. En ella se aprecia que la mayor cantidad de dificultades se concentra en la fase de planificación y factibilidad, y construcción y equipamiento. En la fase de puesta en marcha no se detectaron problemas comunes o frecuentes. Por último, durante la operación y mantenimiento, la lista de problemas se reduce a dos problemas frecuentes. La frecuencia con la que se presentan estos diversos problemas se resume en la **Figura 19**.

Tabla 8: Resumen de problemas comunes asociados a cada etapa de los proyectos solares estudiados

Planificación y Factibilidad	Construcción y Equipamiento	Puesta en marcha	Operación y Mantenimiento
Conexión a red eléctrica	Aduana		Suciedad
Trámites con instituciones públicas (SEA, DGA, BN)	Déficit en capital humano		Problemas por operación del sistema interconectado
Búsqueda de financiamiento	Insuficiencia de insumos a nivel regional		
Déficit en capital humano	Instalación de estructuras de soporte		
Concesiones mineras	Estándares seguridad mineros		
Ritmo minería			

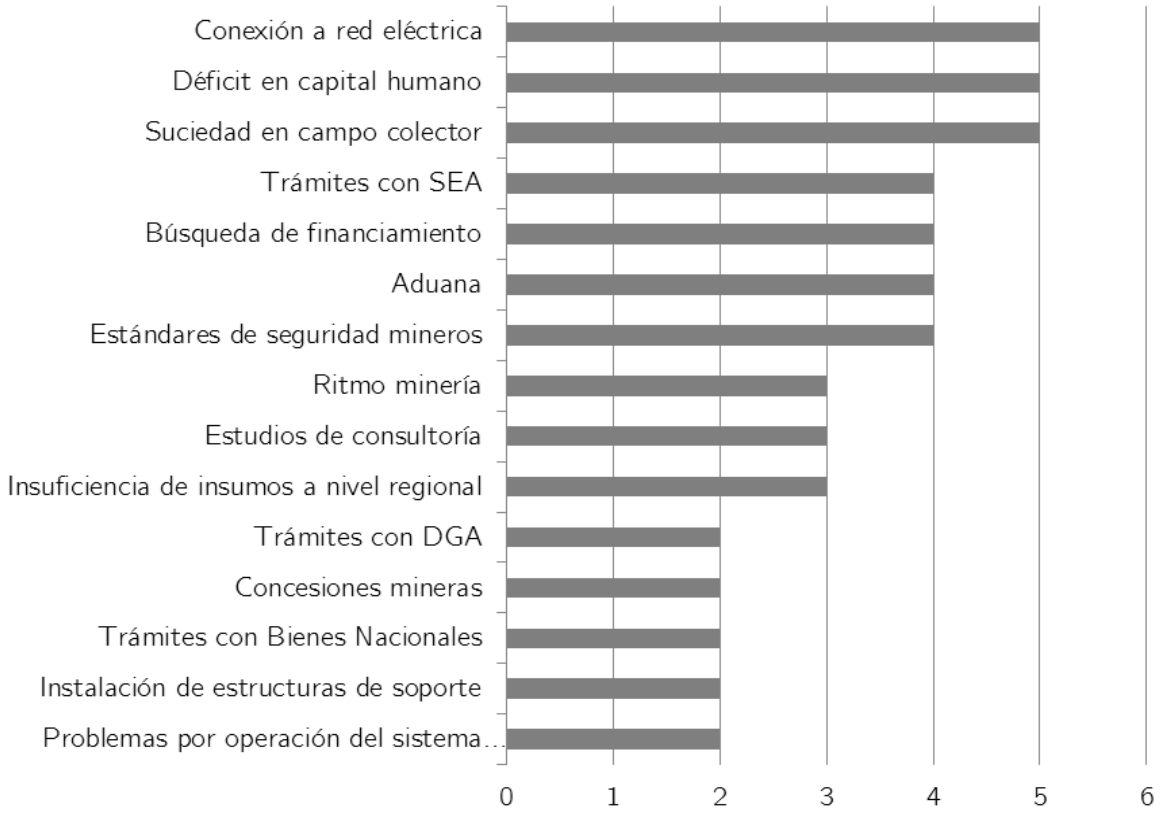

Figura 19: Frecuencia de problemas detectados.

6.4. Barreras, dificultades y problemas de la fase de Planificación y Factibilidad

En la fase de planificación y factibilidad se detectan las dificultades listadas en los siguientes apartados.

6.4.1. Conexión a red

Problemas:

- A pesar del acceso abierto a red estipulado por la ley, en la práctica la conexión es un proceso costoso (ejemplo reportado: 1 M USD para una planta en torno a 20 MW) y demoroso (1 año aproximadamente).
- Información publicada en CDEC y CNE muchas veces no contiene todos los parámetros técnicos del sistema eléctrico necesarios para el diseño óptimo de una planta solar (ej.: rampas de toma de carga para el dimensionamiento del almacenamiento CSP).
- Servidumbre para línea de conexión muchas veces es desafiante, debido al inherente proceso de negociación con dueños de terrenos y/o Bienes Nacionales.
- Existe una elevada cantidad de proyectos ERNC aprobados sin claridad de pronta ejecución (especulación), esto dificulta determinar la capacidad de conexión remanente de proyectos ERNC.

Soluciones propuestas:

- Tener claridad sobre el punto de conexión y efectuar el trámite con bastante antelación (1 año).
- Establecer plazos máximos para la conexión a la red, por ejemplo en un reglamento de la Ley General de Servicios Eléctricos, más allá de los cuales se responsabiliza con multas crecientes a la empresa de transmisión.
- Fiscalizar plazos y costos de conexión para garantizar que acceso efectivamente sea abierto, por ejemplo a través de la SEC.
- Transparentar, unificar, simplificar y actualizar bases de datos de los distintos actores públicos, en particular CNE, CDEC, SEA y Bienes Nacionales.
- Impulsar asociatividad desde el gobierno: crear alianzas con empresas que posean puntos de conexión propios.
- Impulsar desde el gobierno el desarrollo de herramientas informáticas para asistir los estudios de conexión.
- La caducidad de la Resolución de Calificación Ambiental que regirá desde el 2015, afectando a los proyectos que no inicien obras dentro de 5 años tras la aprobación ambiental, es una medida que ayuda a resolver la especulación.
- Participar en “Mesa de Transmisión” en el marco de la “Agenda de Energía 2050” del Gobierno para nutrir la discusión con los problemas actuales.

6.4.2. Trámites con instituciones públicas

Problemas:

- Desconocimiento de la materia a evaluar de prácticamente todas las instituciones públicas (SEA, CDEC, Municipalidades), sobre todo para los primeros proyectos solares en cada zona.
- El alto nivel de detalle en la ingeniería que exige el SEA, implica que pequeños cambios en el diseño del parque solar deben volver a ser aprobados por el organismo, generando demoras.
- Larga tramitación en el SEA (5 a 8 meses), en relación al tiempo de construcción de las plantas (3-8 meses). Además alta dispersión en los tiempos de tramitación.
- Trámite de Dirección General de Aguas (DGA), necesario en parques solares cercanos a quebradas, es demoroso (10 meses). No hay distinción en el trámite si el parque se ubica en una quebrada del desierto o un río caudaloso del sur.
- Falta de plazos para dar respuesta a Consultas de Pertinencia en el SEA, genera incertidumbre en duración de tramitación y atrasos.
- Metodología del SEA empuja a realizar proyectos pequeños (<3MW) que no requieren Resolución de Calificación Ambiental o muy grandes por las economías de escala inherentes al costo fijo de un estudio ambiental.
- Bienes Nacionales (BN) presenta problemas en la actualización de su base de datos (ej.: límites de terrenos y líneas de transmisión), lo cual ocasiona resoluciones infactibles o ambiguas, generando atrasos.

Posibles soluciones:

- Capacitación de personal público (BN, SEA; Municipalidad, DGA, Dirección Aeronáutica), con énfasis en zonas que a la fecha no han tenido proyectos FV y en zonas claves con elevada cantidad de proyectos en desarrollo.
- Procedimiento simplificado en DGA y SEA para proyectos solares estandarizados. Esto es factible asimismo, para proyectos que se asimilan a proyectos ya aprobados ambientalmente.
- Establecer plazos en reglamentación del SEA para dar respuesta a Consultas de Pertinencia.
- Fortalecimiento del SEA y DGA a través de mayor personal.
- Actualización permanente y cruzada de bases de datos públicas (CNE, CDEC, SEA). Mejorar la estructura de la información pública disponible para disminuir la dificultad de la búsqueda de información. Sistematización de información de líneas base de los proyectos presentados al SEA.

6.4.3. Financiamiento

Problemas:

- Dificultad para encontrar acuerdos de venta de energía (PPA). Esta dificultad se acentúa por la fluctuación en generación de energía solar (ciclo día/noche), y el desconocimiento tecnológico del consumidor.
- Diferencia de tamaños entre generadoras (típicamente pequeñas empresas solares) y consumidor (minería) genera gran asimetría en negociación ("over the counter" - mercado de contratos a medida). Además existe una elevada cantidad de pequeños proyectos solares que intentan obtener un PPA con un grupo reducido de clientes (gran minería).
- Prácticamente no existe el modo "Project finance" en Chile. En otras palabras, el proyecto no puede respaldarse por su propio flujo de caja proyectado, sino debe contar con patrimonio como garantía. Este problema se acentúa por la falta de capacidad de evaluación de proyectos por parte de la banca.

Posibles soluciones:

- Para facilitar un PPA, asociarse con tecnologías de almacenamiento, CSP, o generación flexible. Alternativamente, formar alianzas estratégicas entre generadoras solares pequeñas para facilitar creación de contratos PPA.
- Creación de red de inversionistas ángeles[7] provenientes del mundo minero en base a la dinámica de bonos para fomentar la inversión en tecnología solar, mediante participación accionaria en proyectos solares.
- Destacar y publicitar los instrumentos de financiamiento gubernamental existentes (por ejemplos los instrumentos listados por el CER aquí o los informados en la fase I del Clúster Solar).
- Potenciar el Banco Estado como entidad crediticia para proyectos solares. Por ejemplo a través de capacitaciones específicas permanentes a evaluadores de créditos y aumento de capitales de riesgo.
- Capacitación a personal bancario en materias de energía solar, en aspectos tecnológicos que inciden sobre la generación esperada cuando existe PPA y capacitación adicional en el mercado eléctrico nacional cuando no existe PPA.
- Promover portafolios ERNC que minimice varianza de potencia por dispersión geográfica y tecnológica. Esto ya existe como iniciativa privada (ej.: Antuko de BCI), la que puede ser apoyada a través del financiamiento de programas de capacitación, herramientas de análisis, etc. Por otro lado, se puede crear un mecanismo análogo en el Banco del Estado. Sin embargo, esta solución está limitada a proyectos geográficamente cercanos mientras no se resuelva la congestión en la transmisión.
- En base al nuevo esquema de licitaciones que se está llevando a cabo, realizar un análisis independiente para determinar si éste resuelve barreras de entrada de la energía solar, y proponer ajustes en caso de ser necesario.

[7] individuos prósperos que proveen capital para una inversión determinada

- Impulsar a Codelco como minera ejemplar en materia de energía solar. Se debe revisar con qué facilidad legal Codelco puede llegar a acuerdos PPA o a la generación de proyectos propios.
- Potenciar el "project finance", a través de la exigencia de una cuota mínima de fondos invertidos de las administradoras de fondos de pensiones, y mediante las soluciones anteriores.

6.4.4. Déficit Capital Humano

Problemas:

- Carencia de especialistas para diseño de parques solares. Si bien esto no ha sido impedimento para la gestación de proyectos, es una oportunidad para crear empleo calificado nacional.
- Carencia de consultores especialistas en estudios propios de la fase de diseño. Consultores existentes son caros comparados con precios internacionales y frecuentemente presentan errores en sus estudios.
- Falta de personal bancario para evaluación de proyectos solares (ya mencionado anteriormente)

Posibles soluciones:

- Crear programas de capacitación en todos los niveles educacionales, desde colegios técnicos hasta formación profesional y de investigación a concretarse a lo largo del país con foco en la zona norte. Esto se puede lograr a través de la formación de un Clúster Solar.
- Creación de instrumentos de incentivo, a través del Ministerio de Energía y/o de Educación, para promover la transferencia tecnológica y el uso de recurso humano nacional y local para tecnologías nuevas en Chile. Para tecnologías existentes en Chile (FV), creación de un proyecto piloto en el cual se capacite e instale simultáneamente.
- Desarrollo de giras tecnológicas a plantas solares para formadores de colegios técnicos.
- Creación de programa de certificación nacional o de evaluación de proyectos realizados (ej.: sistema semáforo) de empresas consultoras que caracterice calidad de los estudios. Esto podría implementarse, por ejemplo, como base de datos a través de CER o ACERA.

6.4.5. Concesiones mineras

Problemas:

- Existencia de numerosas concesiones mineras sin explotación por especulación, dificulta encontrar terrenos adecuados y trazado óptimo de líneas de transmisión.

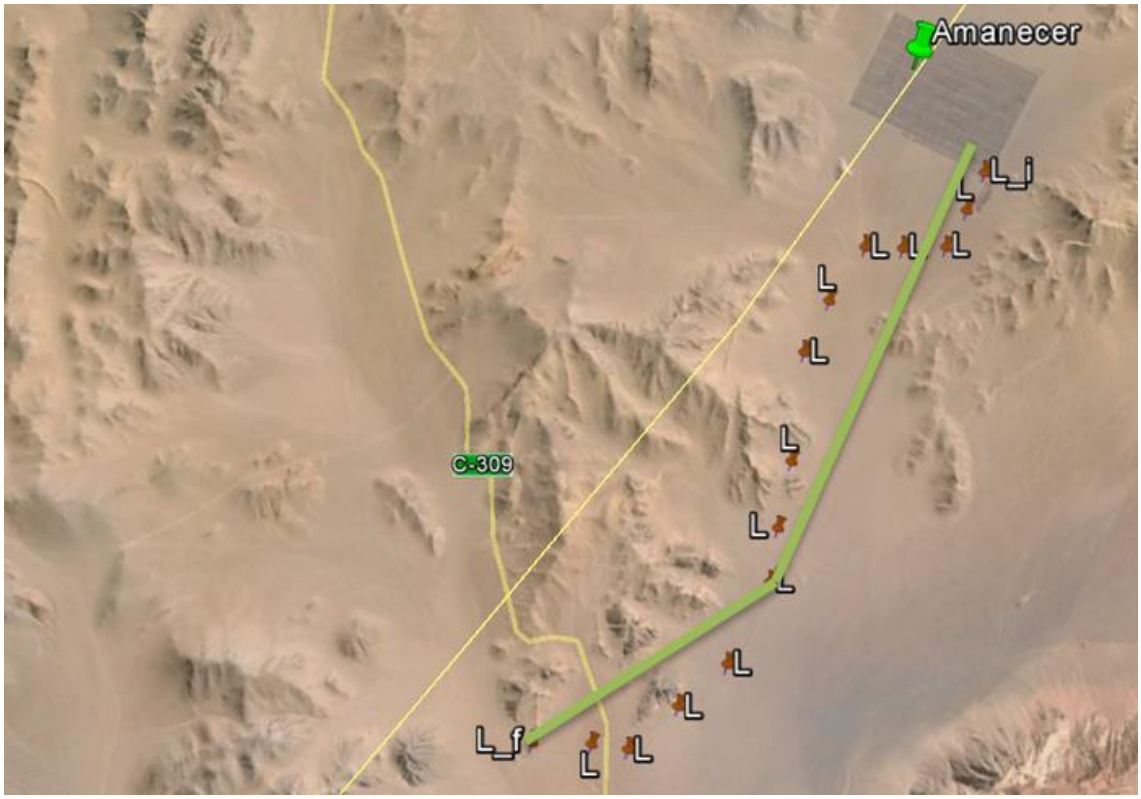

Figura 20: Línea de transmisión (puntos cafés) de la planta Amanecer (fuente: GoogleEarth) en donde se observa un recorrido más largo comparado con el trazado del camino (línea verde), debido a la existencia de numerosas concesiones mineras.

Posibles soluciones:

- Actuar sobre cantidad y duración de concesiones: aumentar el valor de patente y/o implementar valor creciente en el tiempo, forzar caducidad por no uso, mediante modificación al Código Minero.
- Incorporar tema a “Mesa de Ordenamiento Territorial” de la “Agenda de Energía 2050” del Gobierno.

6.4.6. Ritmo minero

Problemas:

- En tiempos baja actividad minera se dificulta la gestación de proyectos solares. Incluso proyectos ya adjudicados se aplazan. Si bien este hecho puede afectar a la industria nacional de manera transversal, las empresas solares por su tamaño reducido son sensibles a esta dinámica.
- En tiempos de alta actividad minera se acentúa la competencia por la escasa mano de obra (ya mencionado anteriormente).
- Existe una alta rotativa de personal gerencial en minería, que dificulta la gestación y seguimiento de proyectos.

Posibles soluciones:

- Esta situación puede interpretarse como una oportunidad, ya que la actividad minera genera una base de conocimiento local sólida para poder abordar proyectos solares. De lo anterior se desprende la necesidad de aumentar la oferta especializada de servicios que permita cubrir adecuadamente ambos servicios. Una primera estrategia en esta línea puede ser la capacitación masiva en tecnología solar a las empresas que dan servicios mineros en la zona, por ejemplo mediante centros de formación técnica de la zona o cursos SENCE.

6.5. Barreras, dificultades y problemas de la fase de construcción y equipamiento

Los problemas repetitivos que se detectaron en la fase de construcción y equipamiento se detallan a continuación.

6.5.1. Aduana e internación

Problemas:

- Paros frecuentes y prolongados generan atrasos en proyectos solares.

Posibles soluciones:

- Si bien los paros detectados pueden tratarse de situaciones puntuales, la recomendación general radica en el perfeccionamiento de los procesos de negociación sectorial (sindicatos – empleador) de manera de minimizar el efecto en las labores productivas.

6.5.2. Déficit Capital Humano

Problemas:

- Carencia de instaladores y especialistas de parques solares. Se presencia una elevada subcontratación de empresas extranjeras, que a su vez también subcontratan mano de obra extranjera. Si bien esto no ha sido impedimento para la ejecución de proyectos, es una oportunidad para crear empleo nacional.
- Trabajadores locales acostumbran ritmo de trabajo más lento, por los plazos usualmente más holgados que se manejan en la minería y las exigencias de seguridad de las mineras (ej.: charlas frecuentes de seguridad).

Posibles soluciones:

- Ídem al punto 6.4.4, relacionado con la creación de capacidades humanas locales.

6.5.3. Insuficiencia de insumos a nivel regional

Problemas:

- Carencia de insumos en la zona norte del país, debiendo abastecerse en Santiago de artículos de ferretería. Además muchos insumos son importados.

Posibles soluciones:

- La conformación de un Clúster Solar pensado en los elementos donde Chile agrega valor al desarrollo de la industria solar es el concepto paragua para abordar esta barrera. Esta estrategia no debiera concentrarse sólo en la zona norte sino más bien identificar la cadena de valor a nivel nacional. Esto podría lograrse con una política nacional con foco de implementación regional.
- Potenciar la producción regional, por ejemplo a través de fondos CORFO, enfocada tanto a la industria solar como a la industria de la minería.

6.5.4. Instalación de estructuras de soporte estructural

Problemas:

- Empresas locales no poseen máquinas para fabricación de todas las piezas componentes de soporte.
- Geotecnia es variada y rocosa en el norte, y los terrenos son extensos, por lo cual estudios geotécnicos no siempre son representativos para toda la instalación (problema mencionado anteriormente).
- Si bien fijación a tornillos es la solución más rápida y económica, muchos terrenos no son aptos para la primera, debiendo recurrir a fundaciones de hormigón.
- Desconocimiento de normas locales, particularmente de la norma sísmica, por las empresas extranjeras. Por ejemplo: es requisito una fundación para los centros de transformación.

Posibles soluciones:

- Para fijación atornillada, una solución al encontrar roca es cavar y removerlas, o bien usar perforaciones guía.
- Fundación como solución robusta.
- Desarrollo de solución de montaje adecuada a las condiciones nacionales, por ejemplo a través de la Plataforma Solar de Atacama

Figura 21: Tornillos de soporte inutilizables por chocar con roca dura

6.5.5. Estándares mineros de seguridad

Problemas:

- En proyectos dentro de faenas mineras, el personal solar debe cumplir con toda exigencia operacional de la mina (ej.: licencia de conducir en mina, lámina de seguridad en parabrisas, asegura tuercas certificadas, numerosas firmas para iniciar obras nuevas, etc.). No respetarlos ralentizan obra, puede llevar a despidos y/o término de contratos. Estas exigencias generan tiempos muertos por charlas de seguridad y otros trámites asociados a seguridad minera, y largos trámites (2 meses) para la habilitación de personal y vehículos.
- Prohibición de realizar obras de izaje cuando viento excede un umbral determinado fácilmente genera atrasos, principalmente en época de vientos.
- Parte de la normativa minera de seguridad es percibida como impedimento para los proyectos solares, dados sus bajos riesgos.

Posibles soluciones:

- Ejecutar Instalaciones FV fuera de operaciones mineras (esto no necesariamente es aplicable a proyectos térmicos).
- Generar contratos de desvinculación de responsabilidades entre mandante y contratista, aplicable cuando el proyecto se ubica en terreno de minera, pero fuera de las faenas.
- Adecuarse a la situación existente al agregar holguras y planificar en función de estándares mineros. Para ello es relevante crear una base de datos pública con un detalle de los estándares más usados y su importancia para la industria solar, ejemplo mediante CER o ACERA.
- Propiciar certificación temprana para trabajo en faenas mineras de especialistas nacionales y de especialistas extranjeros, buscando homologar normas que se aplican en otros lugares.

6.6. Barreras, dificultades y problemas de la fase de puesta en servicio

En términos generales no se detectaron problemas ni dificultades en esta etapa en particular, sino dificultades que resultan transversales a todas las fases del proyecto como la conexión a la red eléctrica, pero que se abordan desde la fase de planificación.

6.7. Barreras, dificultades y problemas de la fase operación y mantención

Los problemas repetitivos que se detectaron en la fase de operación y mantención se detallan a continuación.

6.7.1. Operación del Sistema Eléctrico de Potencia

Problemas:

- Operación del sistema eléctrico de potencia fuera de los umbrales de tensión (voltaje) establecidos en la Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio, provoca frecuentes desconexiones de sistemas solares. Esto disminuye el factor de planta del parque. Este riesgo también aplica a sistemas isla.

Posibles soluciones:

- Este problema radica en la limitada capacidad de transmisión. En el SING, la transmisión presenta niveles particularmente críticos por el bajo desarrollo del sistema troncal[8]. Entre 2006-2010 sólo dos barras formaban parte de las instalaciones troncales (Crucero-Encuentro), mientras que entre 2011-2014 se incluyeron las barras Tarapacá, Lagunas y Atacama. Es importante promover una planificación del sistema de transmisión que anticipe los nuevos proyectos y tome en cuenta la alta tasa de instalación de proyectos ERNC. Esta propuesta está alineada con la "Carretera Eléctrica de Transmisión" que está en discusión política.

6.7.2. Déficit Capital Humano

Problemas:

- Cuando una planta solar pertenece a una operación minera, la mantención de campo solar compite con personal de mantención de la mina, dado que el personal tiene su foco en la producción minera.
- Carencia personal técnico capacitado para la mantención de parques solares.
- Muchos trabajadores locales no poseen formación eléctrica ni fotovoltaica.

Posibles soluciones:

- Creación de empresa local especializada en mantención de sistemas solares.
- Analizar si programa "Técnicos para Chile" genera los resultados deseados para instalaciones solares.
- Ídem al punto 6.4.4, relacionado con la creación de capacidades humanas locales.

6.7.3. Suciedad

Problemas:

- El norte de Chile posee numerosas fuentes de suciedad (arrastre de sedimentos del desierto en vientos o tormentas, polvo levantado por caminos transitados, polvo y ácido de operaciones mineras), que frente a bajas o nulas precipitaciones afectan el

[8] Según el estudio "Propuesta para nuevo sistema de transmisión troncal SING" del CDEC-SING, el sistema de transmisión troncal es: "un conjunto de instalaciones de uso común que deberán ser pagadas por generadores y clientes finales, según el uso que éstos hacen de ellas. Estas instalaciones son determinadas cada cuatro años, mediante un Estudio de Transmisión Troncal (ETT) para distintos escenarios de expansión de la generación y de interconexiones con otros sistemas eléctricos, cuyo proceso de elaboración es dirigido y coordinado por la Comisión Nacional de Energía (CNE)."

rendimiento del sistema solar. Dentro de las operaciones mineras como fuentes suciedad, destacan principalmente el chancador primario y la línea de ácidos. Las otras operaciones (estaciones de transferencia, correas transportadoras, stock piles, concentradoras) no fueron identificadas como problemáticas. Se debe tener presente que medidas de mitigación de polvo instauradas, en la práctica pueden funcionar deficientemente (ejemplo: supresores de polvo parados o caminos sin humectar).

- El polvo, al mezclarse con la camanchaca, forma estrías y una dura capa de depósito, retenida particularmente en la parte inferior por el relieve del marco del mismo. Este fenómeno se acentúa si el sistema tiene una inclinación baja. El ensuciamiento es no lineal: un evento de humedad y polvo puede perjudicar el rendimiento de manera más importante que todo un mes con ausencia de eventos importantes.
- Los módulos de capa fina por su baja eficiencia poseen áreas mayores, lo cual encarece el ciclo de limpieza.
- Una elevada cantidad de polvo penetra el centro de transformación (particularmente cuando el polvo es fino como la Chusca) o colmata los filtros de aire anticipadamente, en comparación con la experiencia internacional.
- La neblina ácida, proveniente de la electro-obtención y la extracción por solventes, se deposita en captadores y puede muy rápidamente corroer componentes metálicas expuestas.
- La calidad del agua disponible en ciertas instalaciones no es suficiente para permitir una limpieza adecuada de los captadores, lo cual puede generar sobrecostos al tener que adquirirla en lugares más remotos.

<u>Posibles soluciones:</u>

- Realización de estudios de viento (ej.: mediante consulta de base de datos meteorológica) para ubicación del campo de captación fuera de la dirección de vientos principales con respecto a fuentes de ácidos y polvo.
- Para ahorrar agua se puede realizar limpieza con aire, cuidando en el proceso la dirección del viento.
- Si el sistema solar posee seguimiento, guardarlo en posición vertical durante la noche puede tener un efecto limpiador, sobre todo en zonas de camanchaca.
- Protección adicional centro de transformación, en comparación con instalaciones internacionales.
- Capacitación en las consecuencias que tendrían distintas tecnologías fotovoltaicas (ej.: a-Si, CdTe, cogeneración) en los costos de mantenimiento, por la influencia de polvo sobre ellas, y desarrollo de métodos de estudio de polvo para lugares de alta suciedad.
- Incluir como criterio de diseño, la frecuencia de precipitaciones para poder prescindir de limpieza.
- Uso de cercos vivos, cobertores vegetales y árboles perimetrales como trampa de polvo. Aquí existe un balance entre el consumo agua para la mantención de éstos y el mayor aporte energético de la central solar y los menores gastos en limpieza.
- La Plataforma Solar de Atacama sería un lugar ideal para investigar respecto la dinámica entre el polvo del desierto y los parques solares.

Comentario: si bien el factor de planta de los paneles de capa fina es beneficiado por la ausencia de marcos (y el menor depósito de polvo), la mayor captación de radiación

indirecta y la menor sensibilidad al polvo, el costo operacional crece, debido a su mayor área. Aún no queda claro el balance entre éstos fenómenos en las condiciones de Chile.

Figura 22: Acumulación de polvo en luminarias fotovoltaicas cercanas (a) y lejanas (b) a operaciones mineras

Figura 23: Corrosión por ácidos provenientes de operaciones mineras sobre instalaciones solares térmicas: soportes y cajas eléctricas (a), juntas y válvulas (b) y caseta de control (c)

Figura 24: Ejemplo de acumulación de polvo sobre paneles.

6.8. Recomendación general

Como recomendación general se propone la selección/concurso de proyectos emblemáticos donde se realice un seguimiento detallado de su desarrollo con el fin de:

- Identificar las barreras en detalle. Por ejemplo, realizar estudios de polvo para analizar la relación entre las fuentes de polvo y su composición, el viento, la tasa de depósito en los captadores y el rendimiento de la central; detectar parámetros clave para optimizar la ubicación de centrales y limpiezas; cuantificar técnicas de limpieza como el guardado en posición vertical; minimizar el consumo de agua; estudiar el rendimiento de módulos de capa fina en Chile; etc.
- Documentación detallada y cuantitativa de experiencias y soluciones encontradas.
- Difusión de resultados con el fin de contribuir al desarrollo de otros proyectos similares.
- Base de datos de respuestas a preguntas frecuentes.

La Plataforma Solar de Atacama sería un lugar ideal para experimentar respecto las barreras técnicas y operacionales observadas, de manera de ajustar y adaptar las mejores tecnologías y prácticas, y desarrollar tecnologías solares para Atacama, y finalmente traspasarlas como bien público a las empresas. Por otro lado, la implementación de un Clúster Solar en Atacama abordaría los desafíos asociados a la insuficiencia de insumos regionales, el déficit de capital humano y la variación del ritmo minero, y potenciaría los aportes de la Plataforma Solar de Atacama. A partir de la parte inferior de la **Figura 25** resulta natural ubicar a ambas iniciativas en la zona de Antofagasta, lugar dotado con un elevado recurso solar, fuerte presencia industrial y numerosos centros de consumo energéticos.

6.9. Tendencias

Las secciones anteriores han presentado los problemas detectados en las plantas existentes. Sin embargo, existen desafíos incipientes, que en caso de no ser enfrentados apropiadamente, podrían agravar el panorama solar chileno. Estos desafíos serán descritos a continuación, agrupados en corto y mediano plazo, y largo plazo.

6.9.1. Corto y mediano plazo (limitada capacidad de transmisión)

La presente tasa de instalación de proyectos fotovoltaicos implica llegar a la capacidad de las líneas de transmisión muy pronto. La problemática de las líneas de transmisión se ilustra en la parte superior de la **Figura 25**. Ésta muestra a escala las plantas solares operativas, en construcción y aprobadas, y las líneas de transmisión. En ella se puede detectar los sectores en los cuales la situación ya es crítica hoy, como lo es la zona norte del SIC y la zona norte del SING. A medidas que proyectos aprobados se concreten, las zonas anteriores y la estación Crucero, entre otros, se agudizarían.

Las amenazas para el mundo solar en un sistema de transmisión deficiente son las siguientes (sin que esta sea una lista exhaustiva):

1) Dificultad de encontrar puntos de conexión que posean suficiente capacidad remanente.
2) Problemas de tensión de red, lo cual implica desconexiones frecuentes.
3) Desacoples de precios entre barras de un mismo sistema eléctrico. Las barras con elevada presencia solar tendrán bajos precios, lo cual impacta fuertemente en el balance económico de los proyectos, cuando: i) la planta solar vende a precio spot; o ii) la planta inyecta en la zona de bajos precios y luego retira en zonas de altos precios para abastecer su PPA.

El primer punto afecta principalmente la gestación de proyectos nuevos. Se observa que la actual tasa construcción de instalaciones de transmisión (CDEC) no alcanza a cubrir la necesidad de los proyectos ERNC (listado de proyectos aprobados se puede consultar en el SEA). Consecuentemente, la actual ventana de oportunidades para proyectos solares se está cerrando rápidamente. Se estima que proyectos que no tengan la conexión resuelta deban esperar hasta las ampliaciones del 2017-2018 (Cardones-Diego de Almagro y Polpaico-Cardones. Fuente: CDEC). En esta línea es esperable que muchos de los proyectos ya aprobados por el SEA no se concreten en el corto plazo. Se identifican como posibles soluciones:

- Aceleración de instalaciones de transmisión, aunque esto es difícil de lograr, más en contexto de la actual oposición ciudadana.
- Elección muy cautelosa del lugar de instalación, posiblemente en lugares al sur de zonas saturadas (zona norte del SIC y SING). Esta solución puede impulsarse con licitaciones de terrenos clave, para lo cual se sugiere revisar si el actual sistema de licitaciones enfrenta esta barrera adecuadamente.
- Generación distribuida.

Se identifica a partir de la parte central de la **Figura 25**, la existencia de vastas superficies de elevado potencial solar sin explotar (sin proyectos propuestos). Ejemplo de esto es la franja transversal delimitada por Paposo y Antofagasta, y el cuadrilátero entre Copiapó, Paposo y la

Cordillera de los Andas. Esta situación se encuentra condicionada por la ausencia de líneas de transmisión.

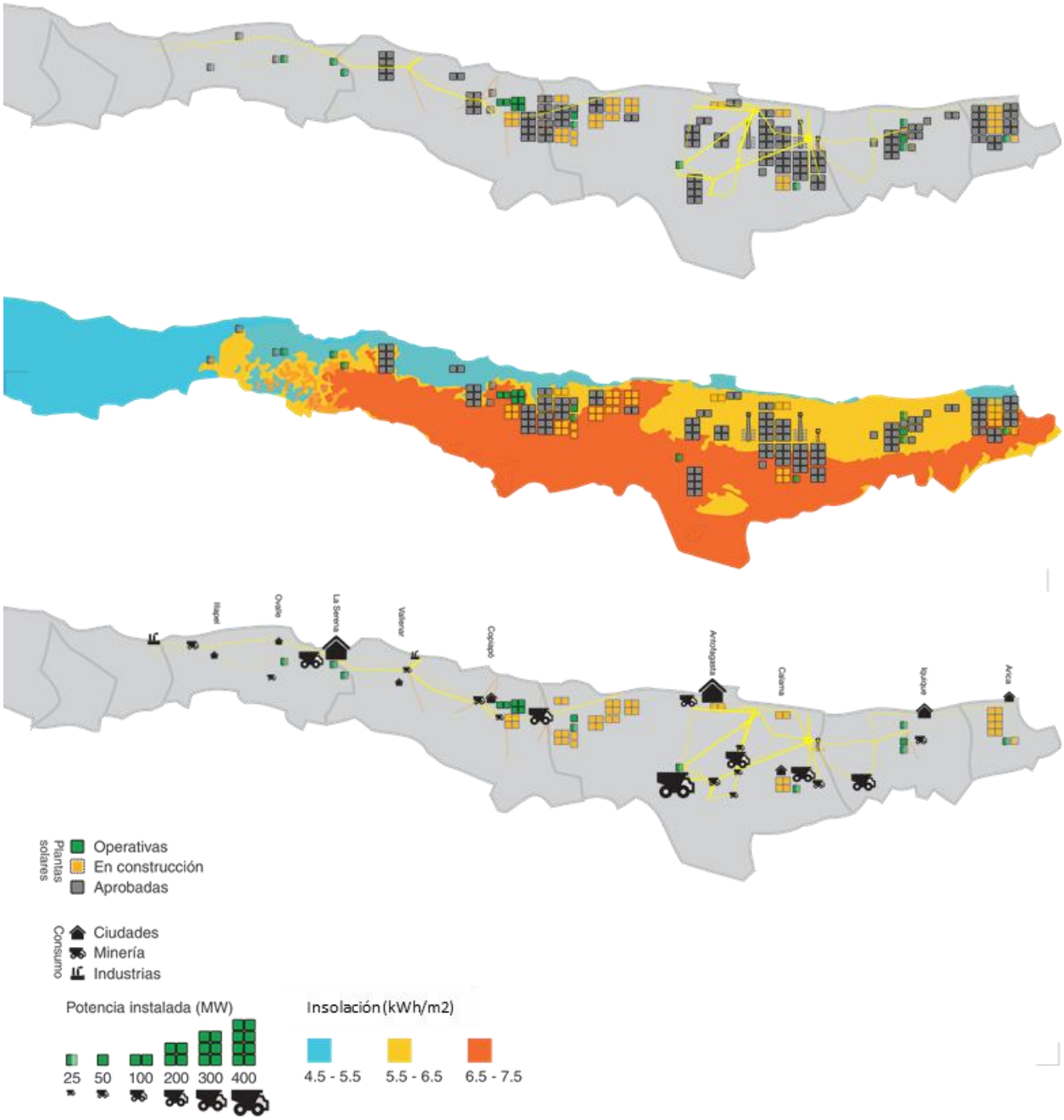

Figura 25: Superior - plantas solares operativas, en construcción y aprobadas, y sistema de transmisión para ilustrar cuellos de botella en transmisión. Medio - plantas solares operativas, en construcción y aprobadas sobre mapa de insolación para mostrar zonas de elevado potencial solar sin explotar. Inferior - principales consumos, plantas solares operativas y en construcción, y líneas de transmisión para identificar la necesidad de potenciar un Clúster Solar en la región de Antofagasta.

Por otro lado, cada proyecto que se instala, afectará a los ya existentes en contexto del problema 2) y 3). Frente a esta problemática, se identifican las siguientes ayudas para proyectos solares:

- Creación de fondos estabilizadores de precio y promoción del existente precio estabilizado de nudo.
- Inversión en portafolios de proyectos para minimizar riesgos de exposición al costo marginal.
- Asociación con proyectos de almacenamiento de energía, en cercanías al proyecto solar (ej.: planta de hidrobombeo con planta FV), o bien inversión en tecnología solar con acumulación, es decir CSP, permitirán disminuir el factor de coincidencia de la generación solar. Consecuentemente, estos casos podrán acceder a mejores precios spot, como también entregar energía firme con más facilidad.

6.9.2. Largo plazo (ajuste entre la generación solar y demanda energética)

Aún si se resuelven los tres problemas enumerados en el segmento anterior, prevalece en el largo plazo otro desafío: calzar la generación solar con la demanda energética. Frente a esto, son soluciones las tecnologías de generación flexible (ejemplo: hidroelectricidad o gas), instalaciones de sistemas de transmisión, la gestión de demanda (en inglés: “demand side management”) y tecnologías de almacenamiento (incluyendo la tecnología CSP con acumulación térmica). Por ejemplo, un estudio de NREL sobre California muestra que la tecnología CSP puede presentar un beneficio entre 20-60 USD/MWh mayor que soluciones FV para escenarios de elevada penetración ERNC (Jorgenson, Denholm, & Mehos, 2013). Esta recomendación se encuentra alineada con la última versión de la Ley de Energías Renovables (EEG) de Alemania que promueve el autoconsumo y la acumulación de energía.

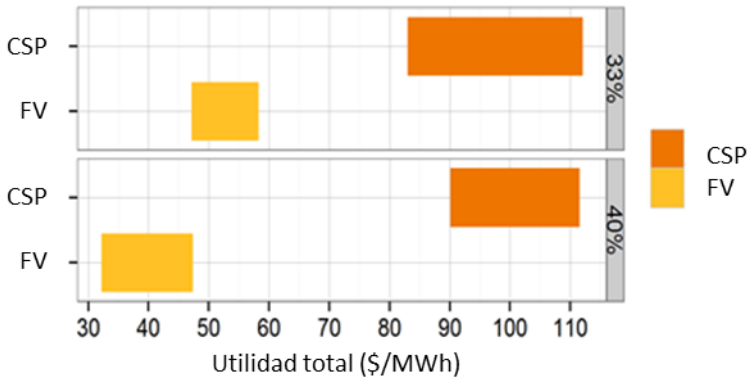

Figura 26: Valor de CSP con acumulación térmica para dos escenarios de penetración de energías renovables (33% y 40%) en California (Jorgenson, Denholm, & Mehos, 2013)

Por otro lado, un sistema solar podría en teoría respaldarse en el parque hidroeléctrico. Frente a esto se recomienda traspasar la discusión de esta sección a la “Mesa de Hidroelectricidad” de la “Agenda de Energía 2050” del Gobierno, y analizar la interconexión entre el SIC-SING en esta dimensión.

6.10. Resumen y conclusiones

6.10.1. Resumen de barreras

El presente estudio tiene por objetivo detectar problemas y dificultades ocurridas durante la gestión, diseño, instalación, puesta en servicio y operación de los proyectos, para luego proponer recomendaciones que permitan agilizar el desarrollo de la energía solar en el país. El diagnóstico se ejecutó mediante entrevistas y visitas a instalaciones solares existentes en el norte de Chile. La elaboración de soluciones se basa en consulta a expertos y literatura internacional.

Las principales barreras detectadas y sus posibles soluciones, se resumen en los siguientes tópicos:

1) **Financiamiento**
   Problema: existe una gran dificultad de encontrar financiamiento bancario, contratos de venta de energía, o venta del proyecto.
   Soluciones propuestas: potenciar la banca en el tema solar, particularmente el Banco de Estado como entidad crediticia para proyectos solares; promover portafolios ERNC que minimicen la varianza de energía generada; asociación entre empresas solares y empresas de almacenamiento o generación flexible.

2) **Trámites con instituciones públicas**
   Problema: en relación al corto tiempo de construcción de las centrales solares, los trámites asociados a instituciones públicas (SEA, DGA, BN) son largos y, para pequeños proyectos solares, también costosos.
   Soluciones propuestas: simplificar procedimiento en base a proyectos solares estandarizados o de características similares a proyectos ya aprobados; actualización permanente y cruzada de bases de datos; capacitación permanente a personal público; fortalecimiento de las instituciones mediante contratación de mayor personal.

3) **Estándares de seguridad mineros**
   Problema: las reglas de seguridad de la minería, muchas veces desconocidas por las empresas del rubro solar, generan atrasos y sobrecostos en comparación con proyectos externos a la minería.
   Soluciones propuestas: adecuarse a la situación al planificar en función de dichos estándares y propiciar certificación temprana de trabajos en faenas mineras; instaurar un base de datos para difundir estos estándares; ejecutar instalaciones FV fuera de operaciones mineras.

4) **Mano de obra, e industria y materiales locales**
   Problema: carencia de mano de obra nacional a lo largo de toda la cadena de valor de los proyectos solares; pobre desarrollo de industria solar local; falta de materiales locales.
   Soluciones propuestas: crear programas de capacitación en todos los niveles educacionales; crear instrumentos de incentivo para promover transferencia tecnológica y el uso de recurso humano nacional y local; promover la formación de un Clúster Solar en Atacama.

5) **Suciedad**

Problema: polvo y neblina ácida condicionan la ubicación y operación de los proyectos solares. Se evidencia una elevada dispersión en la frecuencia de la limpieza de los campos solares.

Soluciones propuestas: durante la fase de diseño: considerar las fuentes de polvo y ácidos y escoger una ubicación fuera de la dirección de viento predominante de dichas fuentes. Durante la fase de operación: para sistemas con seguimiento, guardar los paneles en posición vertical, disponer a los centros de transformación de protecciones de polvo adicionales; muchas respuestas técnicas y optimizaciones de diseño frente a este desafío se podrían encontrar en la Plataforma Solar de Atacama.

6) **Conexión a red eléctrica y capacidad en líneas de transmisión**

Problema: a pesar de que la Ley establece la conexión a red como abierto, en la práctica es un proceso costoso y demoroso; la obtención de servidumbres es dificultada por concesiones mineras; la capacidad de las líneas de transmisión y de las subestaciones es muy limitada en contexto de los proyectos energéticos en construcción y aprobados.

Soluciones propuestas: elección muy cautelosa del lugar de instalación, posiblemente en lugares al sur de zonas saturadas (norte del SIC y SING), lo cual puede impulsarse con licitaciones de terrenos para lo cual se recomienda revisar si el actual esquema de licitaciones enfrenta estas barreras adecuadamente; promover la generación distribuida, por lo menos hasta que se resuelva el cuello de botella en la transmisión.

La **Figura 27** muestra un cuadro resumen de los problemas (en letra roja), junto a las soluciones propuestas (en letra verde), y como estas últimas interactúan entre sí cuando responden a más de una barrera. Los problemas centrales y/o transversales están resaltados con recuadros rojos

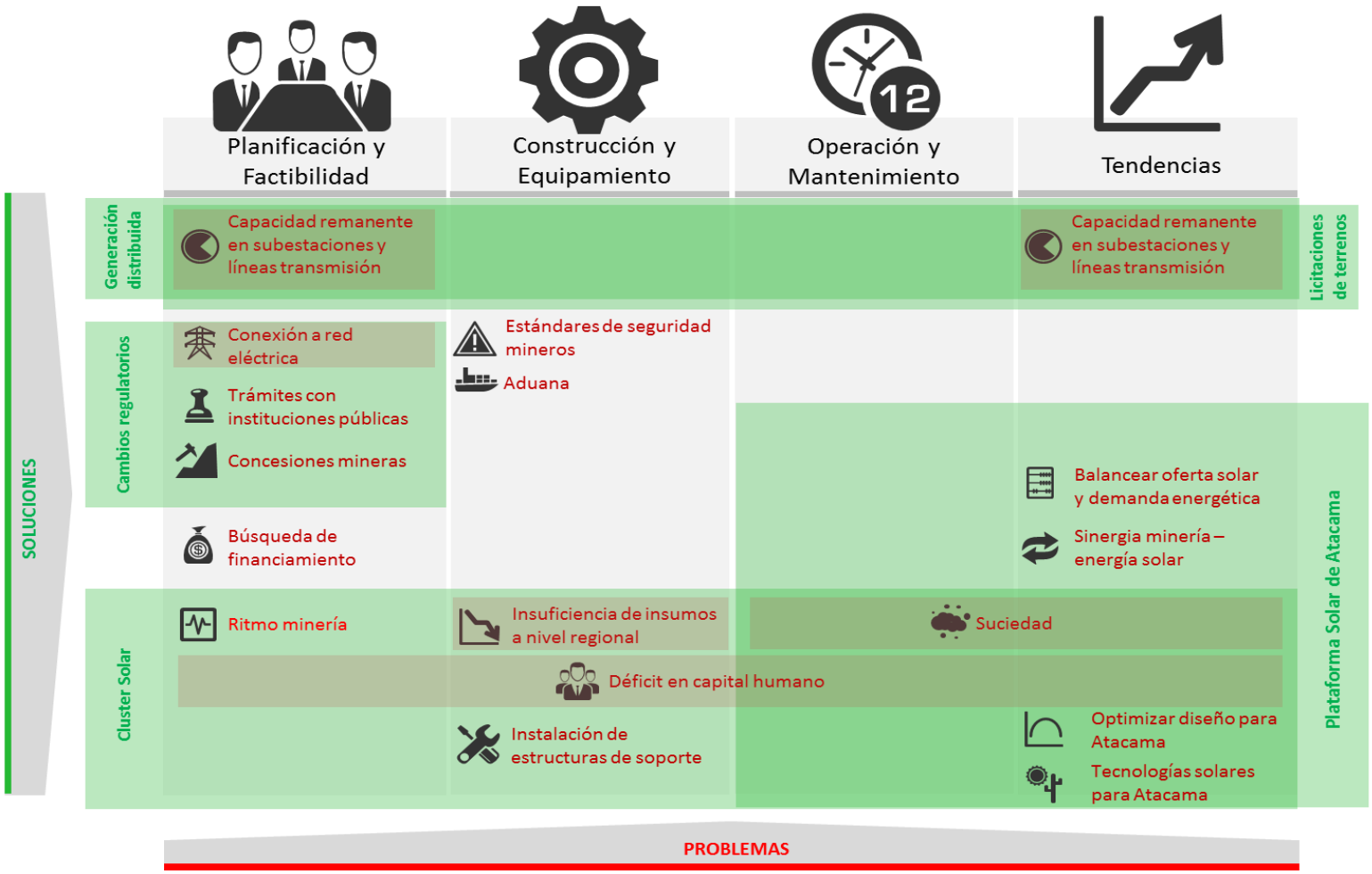

Figura 27: Resumen de problemas principales e interacción con las soluciones propuestas

6.10.2. Conclusiones

El desarrollo de proyectos solares en el desierto de Atacama está avanzando de manera muy rápida, condicionado por ser uno de los pocos lugares en el mundo en haber alcanzado Grid-Parity sin necesidad de subsidios, como Bloomberg New Energy Finance destacó recientemente (World Energy Council; Bloomberg New Energy Finance, 2013). Sin embargo, por la forma en que está concebido el sistema eléctrico chileno, en el cual las iniciativas radican en el sector privado, se ha producido una especie de "carrera del oro" para ubicar proyectos en zonas que parecen promisorias, pero careciendo de una visión de conjunto. Esto significa en la práctica que no existe garantía alguna de que se puedan ejecutar todos ellos, ni que los que se ejecuten sean los mejores para el sistema en su conjunto. En cuanto a proyectos solares térmicos, la planificación sistémica no es tan relevante, dado que cada proyecto depende directamente de una demanda minera particular. Sin embargo, existe un gran riesgo asociado al ritmo minero. Es así que actualmente muchos proyectos solares se encuentran paralizados por la caída del precio del cobre.

Las **barreras más críticas de corto y mediano plazo** que se detectaron, no son propias de la tecnología solar, sino que pertenecen al contexto del mercado eléctrico nacional. Particularmente crítico es la restringida capacidad de las líneas transmisión y subestaciones, que rápidamente estarían llegando a su límite, sumado al dificultoso proceso de conexión a la red. Es probable que los proyectos que no tengan su punto de conexión resuelto, tengan que esperar 4-5 años hasta que las grandes instalaciones de transmisión resuelvan los cuellos de botella. Todo lo anterior complica el financiamiento y la viabilidad de una planta solar, más de lo que ya es. En este contexto se recomienda:

1) Revisar si actual sistema de licitaciones ataca a las barreras detectadas. De ser necesario, ajustar la selección de terrenos a licitar en función de la transmisión.
2) Impulsar el financiamiento de proyectos solares.
3) Regular y fiscalizar el proceso de conexión a la red.
4) Fortalecer el sistema de transmisión y promover la generación distribuida.

Dada la carencia local de componentes y mano de obra, los proyectos solares actualmente hacen uso intensivo de recursos extranjeros. Por ello, el valor de las plantas solares para cada región consiste en la mera generación de energía eléctrica limpia. Frente a esto se propone la conformación de un **Clúster Solar**, visualizando los elementos donde Chile agrega valor al desarrollo de la industria solar. Este Clúster Solar, podrá integrar la industria local en el sistema de valor de la industria solar, como también canalizar la superación de las barreras anteriores.

En el **largo plazo** es relevante lograr balancear la oferta solar con la demanda energética. Frente a ello, las apuestas nacionales deben enfocar los sistemas de almacenamiento, generación flexible y gestión de demanda en el contexto de un sistema de transmisión con capacidad holgada.

Considerando todo lo anteriormente expuesto, se identifican los siguientes puntos como **espacio de investigación**:

- **Suciedad**: la diversidad de factores que condicionan la acumulación de polvo (vientos, composición de suelo, operaciones mineras y fuentes de ácidos, eventos de humedad) sobre las diversas componentes de una planta solar, hace compleja la predicción de dicho fenómeno, complicando la optimización de diseño y la operación de una planta.
- **Módulos de capa fina**: existe un balance económico desconocido entre una menor sensibilidad a polvo, mayor área de captación, menor acumulación de polvo por la ausencia de marcos, y la durabilidad de las celdas amorfas en ambientes de elevada radiación UV.
- **Sinergia minería y energía solar**: dado el gran recurso solar y la elevada actividad minera, existe un gran potencial de asociación entre ambos sectores con resultados de retroalimentación positiva. Por ejemplo, la generación cerca del lugar de consumo, la cogeneración solar, la gestión de demanda en función de la oferta solar, etc. Sin embargo, para que este potencial sea aprovechable, por un lado éste se debe caracterizar con fundamentos científicos y por otro lado se deben atacar las barreras del mundo minero, algunas identificadas en el presente estudio.
- **Sistemas de almacenamiento**: frente a la futura necesidad de sistemas de almacenamiento, hace falta determinar qué sistemas de almacenamiento serán claves para el país en términos de la transición hacia una matriz energética renovable, como también en términos productivos a partir de materias primas locales (este es un cruce con el punto anterior)

Muchos de estos desafíos, para la optimización e integración de tecnologías solares existentes e incluso el desarrollo de nuevas soluciones, podrían ser abordados en investigación local a través de la **Plataforma Solar de Atacama**.

Chile tiene la envidiable posición de contar con las mejores condiciones de radiación solar del planeta en el mismo lugar donde se concentra la demanda energética minera. Por lo tanto, es una clara oportunidad para el desarrollo de proyectos, capacidad de investigación e innovación que permitirá avanzar hacia las metas de reducción de emisiones de carbono y contribuir a la mejora y desarrollo de tecnologías, procesos y métodos con aplicaciones regionales y mundiales.

7. Bibliografía

Abengoa. (2013). *Abengoa.com*. Recuperado el 5 de agosto de 2014, de http://www.abengoasolar.com/web/es/nuestras_plantas/plantas_para_terceros/chile/index.html / http://cer.gob.cl/blog/2013/01/visita-a-planta-de-concentracion-solar-con-tecnologia-de-cilindro-parabolico/

Aravena, R., Suzuki, O., & Pollastr, A. (1989). Coastal fog and its relation to groundwater in the IV region of northern Chile. *Chemical Geology: Isotope Geoscience Section, 79*(1), 83-91.

CDEC-SIC. (2013). *Anuario 2013.* Recuperado el 5 de agosto de 2014, de http://www.cdec-sic.cl/sobre-cdec-sic/directorio/anuario/

CDEC-SING. (2013). *Anuario 2013.* Recuperado el agosto de 2014, de http://www.cdec-sing.cl/html_docs/anuario2013/idiomas/esp/index.html#1/z

CER. (agosto de 2014). *Centro de Energías Renovables del Gobierno de Chile.* Recuperado el 5 de agosto de 2014, de Estatus ERNC-SEIA: http://cer.gob.cl/wp-content/uploads/downloads/2014/06/Estatus-General-_SEIA.pdf

Codelco. (2013). *Codelco.cl*. Recuperado el 5 de agosto de 2014, de http://www.codelco.com/planta-termosolar-tiene-un-avance-de-70-en-division-gabriela-mistral/prontus_codelco/2013-06-12/122112.html / http://www.codelco.com/eficiencia-energetica-crucial-para-el-control-de-costos/reporte2013/2014-04-22/164500.html / http:/

CSP World. (2012). *World news about concentrated solar power.* Recuperado el 5 de agosto de 2014, de http://www.csp-world.com/cspworldmap?field_country_map_tid%5B%5D=496

Dunlop, J. P. (2010). *Photovolatic Systems.* American Technical Publishers, INC.

Enermine. (2012). Recuperado el 5 de agosto de 2014, de http://www.enermine.cl/portal/

FCFM, Centro de Energía. (27 de mayo de 2014). *Parques solares de Chile, base de datos de los parques solares de Chile en operación, construcción y aprobados por el SEA.* Recuperado el 5 de agosto de 2014, de https://www.google.com/fusiontables/DataSource?docid=1QUHzn0Ve2yFSQ5sSKGpO21jCGq5K6EnUPXpJHq09#map:id=3

Garreaud, R., Barichivich, J., Christie, D. A., & Maldonado, A. (s.f.). Interannual variability of the coastal fog at Fray Jorge relict forests in semiard Chile.

Jopia, C. (s.f.). *Revista Bioma.* Recuperado el 5 de agosto de 2014, de Precipitaciones estivales altiplánicas: http://www.revistabioma.cl/precipitaciones_estivales_altiplanicas.html

Jorgenson, J., Denholm, P., & Mehos, M. (2013). *The Value of Concentrating Solar Power in California.* California: NREL.

Maksaev, V. (s.f.). *Nitratos y Salares.* Recuperado el 5 de agosto de 2014, de http://www.cec.uchile.cl/~vmaksaev/NITRATOS%20Y%20SALARES.pdf

Ministerio de Energía. (2012). *Balance de energía 2012.* Chile.

Peuser, D. F., Remmers, K.-H., & Schnauss, M. (2005). *Sistemas solares térmicos, diseño e instalación.* S.A. Progensa.

Peuser, F. A., Remmers, K. H., & Schnauss, M. (2005). *Sistemas solares térmicos, diseño e instalación.* S.A. Progensa.

Propia, E. (s.f.).

SEA. (s.f.). *Servicio de Evaluación Ambiental*. Recuperado el 2014, de http://www.sea.gob.cl/

Vesilind, P. J. (agosto de 2003). *National Geographic Magazine.* Recuperado el 5 de agosto de 2014, de The driest place on Earth: http://ngm.nationalgeographic.com/ngm/0308/feature3/

World Energy Council; Bloomberg New Energy Finance. (2013). *World Energy Perspective - Cost of Energy Technologies.* London: World Energy Council .