



CENTRO DE ENERGÍA
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE
Dirección: Av. Tupper 2007, Santiago
Contacto: Paola Silva T.

Email: psilvatomea@ing.uchile.cl

Propuesta para el desarrollo de un cluster de energía solar en la región de Antofagasta

Informe final Corregido

Preparado por:

Centro de Energía - FCFM - Universidad de Chile

Santiago, 13 de Enero de 2015

Contenidos

1	INTRODUCCIÓN.....	12
2	ANTECEDENTES DE CONTEXTO	18
2.1	MARCO CONCEPTUAL	18
2.2	ALCANCE DEL ESTUDIO	21
2.3	TECNOLOGÍAS SOLAR Y SU EVOLUCIÓN	23
2.3.1	<i>Conversión térmica</i>	<i>23</i>
2.3.1.1	Colectores sin concentración	24
2.3.1.2	Colectores con concentración	24
2.3.1.3	Perspectiva y desarrollos de la tecnología termosolar	26
2.3.2	<i>Conversión directa, fotovoltaica.....</i>	<i>26</i>
2.3.2.1	Perspectiva y desarrollo de la tecnología fotovoltaica	27
2.4	ESTADO DEL ARTE DE LA INDUSTRIA A NIVEL INTERNACIONAL	27
2.4.1	<i>Generación térmica</i>	<i>28</i>
2.4.2	<i>Generación fotovoltaica</i>	<i>30</i>
2.4.3	<i>Sistemas termosolares.....</i>	<i>33</i>
2.4.4	<i>Áreas de investigación y desarrollo</i>	<i>34</i>
2.4.5	<i>Consideraciones sobre los costos y proyecciones futuras para la industria solar .</i>	<i>36</i>
2.4.6	<i>Energía solar en Chile.</i>	<i>39</i>
2.5	BENCHMARKING E IDENTIFICACIÓN DE BUENAS PRÁCTICAS DE CLUSTER SOLARES EXITOSOS	40
2.5.1	<i>Principales características del cluster solar en Finlandia</i>	<i>42</i>
2.5.2	<i>Cluster solar de Nuevo México, Estados Unidos.....</i>	<i>44</i>
2.5.2.1	Principales características	44
2.5.2.2	Proyectos y programas de integración solar	45
2.5.3	<i>Industria solar de Brasil.....</i>	<i>46</i>
2.5.3.1	Principales características	46
2.5.3.2	Programas para promover la energía solar	46
2.5.4	<i>Lecciones a considerar.....</i>	<i>46</i>
2.6	ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA NACIONAL E INTERNACIONAL	49
2.6.1	<i>Demanda Nacional</i>	<i>49</i>
2.6.1.1	Demanda de calor sector industria y minería y CPR	50
2.6.1.2	Demanda de electricidad sector industria y minería y CPR.....	52
2.6.1.3	Desarrollo del sector minero y su relación con la industria solar	54
2.6.1.4	Dimensionamiento del mercado	56
2.6.2	<i>Demanda Internacional.....</i>	<i>59</i>
2.6.2.1	Situación de Argentina	59
2.6.2.2	Situación de Perú	60
2.6.2.3	Situación de Bolivia	60
2.6.2.4	Intercambio de energía entre países.....	61

2.7	IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE CAPACIDADES A NIVEL NACIONAL PARA POTENCIAR EL DESARROLLO DEL CLUSTER EN ANTOFAGASTA.	64
2.7.1	<i>Principales regiones que concentran empresas e instituciones relevantes</i>	64
2.7.2	<i>Situación de la Región de Antofagasta y potencial de vinculación.</i>	66
2.7.3	<i>Barreras a nivel general para la industria</i>	68
2.7.3.1	Barreras técnicas.....	68
2.7.3.2	Barreras económicas-financieras	69
2.7.3.3	Barreras institucionales.....	71
2.7.3.4	Barreras sociales	75
3	DIAGNÓSTICO DEL POTENCIAL DE LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN CLUSTER DE ENERGÍAS SOLAR DE CALIDAD MUNDIAL.	76
3.1	MACRO AMBIENTE DE NEGOCIOS.....	76
3.1.1	<i>Dimensión política</i>	76
3.1.2	<i>Dimensión económica</i>	78
3.1.3	<i>Social</i>	81
3.1.4	<i>Ambiental</i>	81
3.2	OPORTUNIDADES Y DESAFÍOS A LO LARGO DEL SISTEMA DE VALOR PARA EL DESARROLLO DE LA INDUSTRIA SOLAR.	82
3.2.1	<i>Definición de los sistemas de valor de las industrias consideradas</i>	82
3.2.2	<i>Diagnóstico de oportunidades, amenazas, fortalezas y debilidades del sistema de valor solar de la Región de Antofagasta</i>	85
3.2.2.1	Manufactura de equipos.....	85
3.2.2.2	Desarrollo de proyectos e implementación	86
3.2.2.3	Operación y mantenimiento	88
3.2.2.4	Actividades de formación.....	89
3.2.2.5	Actividades científicas, tecnológicas y de innovación	90
3.3	VENTAJAS COMPETITIVAS DE LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA EN MATERIA DE ENERGÍA SOLAR	90
3.3.1	<i>Condiciones de factores</i>	91
3.3.1.1	Mano de obra calificada.....	91
3.3.1.2	Mano de obra especializada	91
3.3.1.3	Costo de la mano de obra.	92
3.3.1.4	Capital humano avanzado.....	94
3.3.1.5	Infraestructura necesaria para competir en el sector.....	95
3.3.1.6	Infraestructura de servicios sociales básicos (hospitales, parques, colegios, otros).	96
3.3.1.7	Recursos naturales y físicos.....	97
3.3.1.8	Localización relativa	98
3.3.1.9	Recursos de conocimiento (universidades, centros de I+D, otros).	98
3.3.1.10	Recursos financieros y costo de capital.....	99
3.3.1.11	Instituciones (Capital social).....	99
3.3.2	<i>Condiciones de demanda</i>	100
3.3.3	<i>Industrias relacionadas y de soporte</i>	102
3.3.4	<i>Rivalidad</i>	103

3.3.5	<i>Creación de nuevos negocios.....</i>	104
3.3.6	<i>Gobierno y regulación.....</i>	105
3.3.7	<i>Casualidad/localización.....</i>	105
3.3.8	<i>Actividades internacionales de negocios.....</i>	105
3.4	ANÁLISIS RESUMIDO DEL ATRACTIVO DE ANTOFAGASTA PARA EL DESARROLLO DE UN CLUSTER SOLAR ...	105
3.5	BRECHAS PARA EL DESARROLLO DE UN CLUSTER SOLAR EN LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA.	107
4	PROPUESTA PARA EL DESARROLLO DE UN CLUSTER DE ENERGÍA SOLAR EN LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA	111
4.1	METODOLOGÍA PARA LA DEFINICIÓN DE LA ESTRATEGIA	111
4.2	LINEAMIENTOS DE LA ESTRATEGIA: PARA QUÉ DESARROLLAR UNA ESTRATEGIA DE DESARROLLO DE UN CLUSTER SOLAR EN LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA	113
4.3	FOCOS ESTRATÉGICOS DE LA ESTRATEGIA DE CLUSTER	114
4.3.1	<i>Fomento productivo</i>	114
4.3.2	<i>Mercado público.....</i>	114
4.3.3	<i>Asociatividad estratégica</i>	114
4.3.4	<i>Atracción de inversión directa extranjera.....</i>	115
4.3.5	<i>Financiamiento.....</i>	115
4.3.6	<i>I+D+i y transferencia tecnológica</i>	116
4.3.7	<i>Información pública</i>	116
4.3.8	<i>Normativa/certificación/estandarización</i>	116
4.3.9	<i>Políticas de Recursos humanos.....</i>	117
4.4	MODELOS DE FINANCIAMIENTO E INSTITUCIONALIDAD	117
4.5	INICIATIVA DE CLUSTER PARA LA INDUSTRIA SOLAR EN CHILE	118
4.5.1	<i>Objetivos y funciones de la Iniciativa de Cluster.....</i>	118
4.5.2	<i>Dimensiones necesarias a considerar en el proceso de desarrollo de la iniciativa de cluster</i>	120
4.6	PROPUESTA DE LINEAMIENTOS ESPECÍFICOS.....	123
4.7	ESTRATEGIA DE IMPLEMENTACIÓN PARA EL DESARROLLO DE UN CLUSTER DE ENERGÍA SOLAR EN LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA	138
4.8	EVALUACIÓN ECONÓMICA PRIVADA Y SOCIAL DE LAS LÍNEAS ESTRATÉGICAS	151
5	CONCLUSIONES	154
6	REFERENCIAS.....	156

Resumen ejecutivo

La energía solar en el mundo se posiciona como una industria competitiva y con oportunidades de seguir desarrollándose en el tiempo para satisfacer las demandas de energía eléctrica y calor a nivel global en base a fuentes renovables. Frente a desafíos energéticos, que comparten la mayoría de los países, asociados a la necesidad de responder a una demanda creciente por energía de manera sustentable en términos económicos, sociales y ambientales, la energía solar, tiene ventajas importantes entre las renovables.

La industria solar se organiza a escala global con la participación de varios países a lo largo de la cadena de valor, centrando las principales actividades de manufactura de equipamiento en China; desarrollo de proyectos fotovoltaicos (FV), concentración solar de potencia (CSP) y termosolar a lo largo y ancho del mundo; y actividades de soporte como innovación y desarrollo principalmente localizadas en los países desarrollados del mundo que han hecho una apuesta fuerte por la penetración de renovables y energía solar en particular, Alemania, Estados Unidos, España e Italia. Esta industria global y altamente dinámica, ha alcanzado status de madurez en algunas de sus aplicaciones en base a una rápida reducción de costos en el tiempo para la energía fotovoltaica (FV), termosolar y concentración solar de potencia (CSP)¹.

A nivel nacional, la energía solar tienen la mayor tasa de crecimiento entre las energías renovables en potencia instalada - por sobre las expectativas de hace 5 años y sin contar con subsidios-. Al mismo tiempo, se considera su priorización como parte de la política Selectiva Estratégica de CORFO del actual gobierno y resulta beneficiada por la ley 20/25 de promoción de renovables.

Desde la región de Antofagasta, el potencial para el desarrollo de la industria solar es destacable a nivel nacional puesto que existen condiciones privilegiadas asociadas a su localización que se traducen en 1) excelentes condiciones de radiación en el norte grande del país que permite una mayor producción de energía², 2) localización de una alta demanda de energía térmica y eléctrica asociada al sector minero (87% y 84% respectivamente); 3) potencial de crecimiento residencial: Calama Solar, Antofagasta Solar y 4) la oportunidad que ofrece la trama productiva que se ha desarrollado como parte de la industria minera en la región.

¹ Sistemas **solares térmicos**: bajo US\$700 por m² instalado. Norte de Chile es competitivo con cualquier combustible fósil. Sistemas **Fotovoltaicos** costos de paneles US\$500/kW y costos de sistema instalados US\$1.500 a 2.500/kW. Norte de Chile pueden vender energía a US\$90/MWh. Problema de variabilidad. **CSP**: US\$4.000 a 10.000/kW instalado (diferencias por grado de madurez y capacidad de acumulación). "Break even" de US\$150 - 200/MWh (Factor de Planta (FP) 2 a 3 veces de sistemas FV). Tecnología menos madura → mayores perspectivas de reducción de costos.

² La radiación global horizontal alcanza un valor de 2528 kWh/m²/año, el cual al considerar tracking en un eje llega a 4000 kWh/m²/año, lo cual se traduce en un potencial de más de 200.000 MW (Fthenakis, 2014).

Bajo estas condiciones de contexto, este estudio presenta una **propuesta para el desarrollo de un cluster de energía solar en la región de Antofagasta**. Para este fin se ha trabajado en torno a la identificación de brechas en base a un diagnóstico acabado de las oportunidades y ventajas con que cuenta la región para el desarrollo de la industria, la identificación de impulsores estratégicos, líneas de acción e iniciativas de política que propendan a facilitar el desarrollo de un cluster que busque maximizar la generación y captura de valor en la industria solar en la región de Antofagasta y la identificación de modelos de negocios que pueden potenciar la agregación y captura de valor en la región en torno a la industria solar.

El análisis e implementación de la propuesta del cluster solar para la región de Antofagasta ha comprendido las siguientes etapas:

1. Identificación y análisis de las principales tendencias de la industria
 - a. Diagnóstico a nivel global, nacional y regional de las principales tendencias de la industria solar
2. Estimación de la demanda potencial del mercado de la industria solar
 - a. Estimación de la demanda por generación eléctrica y calor a nivel nacional e internacional
3. Aplicación de la metodología de análisis de cluster
 - a. Análisis del macro ambiente de negocios
 - b. Análisis sistema de valor de la industria en sus diferentes aplicaciones tecnológicas
 - c. Identificación de ventajas competitivas de la región de Antofagasta
 - d. Análisis de barreras a la industria e identificación de brechas a nivel regional para el desarrollo del cluster
4. Benchmarking con cluster internacionales
 - a. Lecciones aprendidas a partir de la experiencia de cluster internacionales³
5. Presentación de una propuesta de estrategia para el desarrollo de un cluster solar en la región de Antofagasta.

La estrategia para el desarrollo del cluster solar en la región de Antofagasta es concebida como una estrategia de desarrollo industrial traccionada por la demanda de electricidad y calor de los Sectores mineros, Industriales y Comercial, público y residencial y habilitada por las condiciones de irradiación excepcionales de la región de Antofagasta.

La localización de un cluster solar en Antofagasta se ve favorecida por:

- La oportunidad de emplazar proyectos de gran escala que alimenten con generación eléctrica a partir de energía solar el SING y eventualmente el país a partir de la interconexión del sistema.
- La proyección estratégica de crecimiento de la demanda por calor y electricidad vinculado al desarrollo minero y de industrias asociadas en la región norte del país.

³ El análisis de las lecciones aprendidas se encuentra en la sección 2.5.4.

- El potencial crecimiento del consumo de energía de la población y proyectos de ciudades solares con eslabonamientos hacia atrás a la industria proveedora de servicios de desarrollo e instalación y la importación o eventual manufactura de equipos.
- La oportunidad de conformar Antofagasta como un polo exportador de energía a los países limítrofes.

Principales elementos de la estrategia de cluster solar para la región de Antofagasta: Para qué desarrollar una estrategia

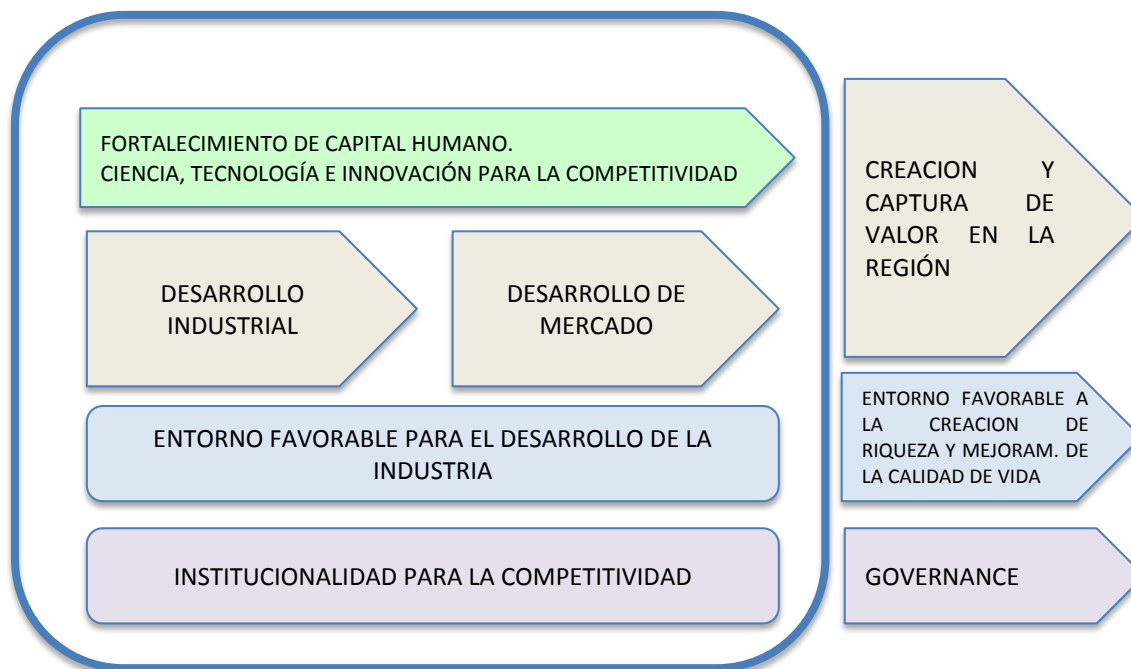
La estrategia de cluster solar para Antofagasta comprende tres ejes impulsores estratégicos⁴ que orientan el fin último que se espera alcanzar, el **para qué** de este esfuerzo:

- Creación y captura de valor en la región asociados al desarrollo de la industria solar en todas sus posibles aplicaciones, para que la región de Antofagasta se beneficie del desarrollo de la industria solar.
- Desarrollo de un entorno favorable a la creación de riqueza y mejoramiento de la calidad de vida para que la región de Antofagasta acoja empresas y profesionales que agreguen valor a la industria.
- Desarrollo de un sistema de gobernanza para el fortalecimiento de la industria que se localice y lidere desde la región de Antofagasta y que al mismo tiempo reconozca y potencie su relación con el país y el Programa Estratégico en la Industria Solar de CORFO y la industria a nivel global.

⁴ Estos impulsores estratégicos fueron definidos en concordancia con líneas de acción identificadas, las que han sido construidas como respuesta a las brechas determinadas en las distintas instancias de la metodología.

LINEAS DE ACCION ESTRATEGICAS

IMPULSORES ESTRATEGICOS



¿Cómo se logran estos resultados?

La estrategia de cluster considera tres ejes de acción que buscan utilizar las condiciones habilitantes y ventajas que ya existen en la región:

- **Investigación y desarrollo tecnológico nacional:** a partir de potenciar la Plataforma Solar del Desierto de Atacama como un eje estructurante del desarrollo de la investigación y desarrollo tecnológico nacional en torno a la industria solar es posible desarrollar alianzas entre universidades de la región y centros de investigación nacionales e internacionales y generar lazos de cooperación entre la industria y centros de investigación para la innovación en la industria.
- **Gestión del entorno para la competitividad:** es fundamental contar con un grupo capaz de articular las relaciones entre los distintos estamentos que participarían del cluster (gobierno, sociedad civil, academia, industria, etc.) y que esta función sea desarrollada de manera permanente tanto por asesores, como por profesionales del cluster solar. En temas afines se encuentra trabajando CREO Antofagasta, la Universidad Católica del norte, el Consejo regional para la competitividad, entre otros.
- **Fortalecimiento institucional:** se requiere desarrollar una Iniciativa de cluster en el que el Gobierno Regional juegue un importante rol de liderazgo y que aglutine masa crítica de investigadores a nivel nacional (como el SERC o ISE Fraunhofer), con el fin de jugar un rol de liderazgo político y técnico frente a instituciones de gobierno nacionales y regionales, desarrollar lineamientos estratégicos de mediano y largo plazo para

consolidar las líneas de acción del cluster solar, identificar necesidades de la industria y propuestas relacionadas a partir de la iniciativa del cluster solar y formular líneas de acción y de proyectos de desarrollo para potenciar el cluster solar

Tiempos y desafíos

La estrategia se implementará en tres etapas (niveles temporales), de acuerdo a la etapa de madurez que se espera lograr con el cluster:

- Etapa de creación de capacidades, se visualiza entre 2015 y 2018.
- Desarrollo, se visualiza entre 2018 y 2020.
- Consolidación, en el horizonte post 2025.

Cuadro 1: Etapas de la planificación estratégica

Línea estratégica		Creación de capacidades	Desarrollo	Consolidación
Institucionalidad para la competitividad	Duración	2015 – 2018	2018 - 2020	2025
	Metas	Definición de política y reglamentación dentro del marco legal existente y de actores requeridos para la IC	Institucionalidad local redefinida. Creación del cluster: financiamiento, actores, estructura, etc.	Convenio de financiamiento
	Alianzas estratégicas	IC de cluster internacionales Centros de investigación (SERC, Fraunhofer, otros).	Equipos expertos en articulación de actores (consultores o capacidades internas de la IC)	Equipos expertos en articulación de actores (consultores o capacidades internas de la IC)
Desarrollo Industrial	Duración	2015 – 2018	2019 – 2026	2027
	Metas	Consortios establecidos entre empresas y universidades Integración a nivel piloto de proyectos para impulsar “Ciudades solares”	Plantas comerciales de producción de módulos y piezas acorde a las condiciones de la región. Desarrollo y masificación de “Ciudades solares” Exportación servicios de energía solar.	Aplicaciones solares comerciales de almacenamiento de energía en base a energía solar para grandes y pequeños proyectos.
	Alianzas estratégicas	Universidades de la región con empresas para colaboración tecnológica en laboratorios naturales	Empresas solares y servicios anexos, sector minero e industrial, centros de investigación y universidades.	Idem.
Desarrollo de mercado	Duración	2015 – 2018	2018 – 2024	2025
	Metas	Consortios y asociaciones de empresas enfocadas a nichos específicos en industria de mediana y pequeña escala.	Exploración de nichos de mercado y exportación de servicios de pequeña y mediana escala para países de LA.	Exportación de servicios de pequeña y mediana escala para países de LA.
	Alianzas estratégicas	Sociedades de garantía recíproca con entidades financieras para impulsar proyectos bajo modalidad ESCO's. Empresas de la industria con centros de investigación y empresas solares. Municipalidades con empresas conexas y pequeño actores solares.	Entre empresas del rubro para aprovechar oportunidades de exportación de servicios de forma más competitiva.	Entre empresas del rubro para aprovechar oportunidades de exportación de servicios de forma más competitiva.
Entorno favorable para el desarrollo de la industria	Duración	2015 – 2020	2020 – 2026	2027
	Metas	Barrios sustentables. Parques y plazas con aplicaciones solares. Mayor cobertura y beneficios para	Barrios sustentables. Parques y plazas con aplicaciones solares. Mayor cobertura y beneficios de salud	Barrios sustentables. Parques y plazas con aplicaciones solares. Trabajadores de la industria solar y sus

Línea estratégica		Creación de capacidades	Desarrollo	Consolidación
		trabajadores y beneficios para la educación de familias asociadas a la industria solar.	para trabajadores de la industria solar en la región.	familias consolidados en la región de Antofagasta.
	Alianzas estratégicas	Empresas solares y servicios anexos con el sector inmobiliario. Entre empresas de servicios conexos de la industria solar.	Alianza entre empresas solares y servicios anexos con el sector inmobiliario. Entre empresas solares y constructoras.	Entre empresas solares y constructoras.
Ciencia, tecnología e innovación para la competitividad	Duración	2015 – 2017	2018 - 2022	2022
	Metas	Programas de investigación y desarrollo que guíen al cluster Alianzas entre universidades nacionales. Alianzas entre Universidades, centros de investigación y la industria.	Atracción de centros de investigación de nivel internacional Contribuir a la comunidad científica internacional en temas solares. Generar lazos de cooperación entre la industria y centros de investigación. Llenar los cupos destinados a I&D.	Vínculo estrecho entre desarrollo de la industria y líneas de investigación Inserción de la Región en el mercado solar mundial (referente para el desarrollo de proyectos) Creación y desarrollo de sistemas solares innovadores y de clase mundial.
	Alianzas estratégicas	Entre Universidades nacionales, entre Universidades y Centros de investigación, entre Centros de investigación y la Industria.	Entre Universidades nacionales e internacionales.	Trabajo conjunto de Universidades nacionales e internacionales.
Fortalecimiento de capital humano	Duración	2015 – 2017	2018 - 2020	2020
	Metas	Programas atractivos que permitan suplir la demanda de mano de obra a corto, mediano y largo plazo (capacidad competitiva a nivel nacional e internacional)	Integración de egresados al sector productivo	Integración de egresados al sector productivo, desarrollo de proyectos y de investigación. Egresados emprendedores que fortalezcan y amplíen la industria local
	Alianzas estratégicas	Entre institutos y sector industrial, entre universidades y centros de investigación.	Entre institutos y sector industrial, entre universidades y centros de investigación.	Entre institutos y sector industrial, entre universidades y centros de investigación.

¿Cuánto cuesta la implementación de esta estrategia?

El potencial desarrollo de un cluster solar para la región de Antofagasta significa una inversión de 782,5 millones de USD (costo actualizado a una tasa de descuento del 10%). Para la implementación de muchas de las iniciativas se utilizan instrumentos públicos disponibles en el país, a través de distintas instituciones de fomento, para los que se ha estimado una inversión actualizada del Gasto en Instrumentos del Estado (en millones de USD) correspondiente a 469,5 (costo actualizado a una tasa social de descuento del 7%).

Como resultado de esta inversión, se avanza en el logro de capturar la mayor parte del valor agregado de los proyectos, a nivel nacional y en la región, lo que se traduce en la generación de rentas para el país.

Se han definido tres escenarios de penetración de energía solar en el contexto del desarrollo del cluster solar de Antofagasta. Ellos corresponden a:

- Escenarios Línea Base (sin cluster): se cumple con la ley de ERNC del 20/25.
- Escenario Intermedio: corresponde a un escenario supuesto más exigente, que implica un cambio a la ley de ERNC, que llega a una tasa del 30/25.
- Escenario 30/33: corresponde a la visión del Solar Energy Research Center (SERC)⁵, donde se proyecta que el 30% del consumo de energía eléctrica de Latinoamérica sea satisfecho a partir de energía solar al 2033. Ello implica la instalación de 200.000 MW de potencia en base a energía solar en el norte de Chile a esa fecha.

En el caso de estos escenarios, tanto el país como la región podrían capturar rentas muy interesantes para los casos con cluster solar. En el caso nacional esta captura de valor agregado varía entre 11.000 y 140.000 millones de USD y en el caso de la región de Antofagasta, entre 4.300 y 47.000 millones de USD.

⁵ SERC Chile es un centro de investigación nacional que congrega a la Universidad de Chile (UCH), Universidad de Tarapacá (UTA), Universidad de Antofagasta (UA), Universidad Técnica Federico Santa María (UTFSM), Universidad Adolfo Ibáñez (UAI), Universidad de Concepción (UDECE) y Fundación Chile (FCh) con el fin de erigirse como líder mundial en investigación científica sobre Energía Solar, con especial énfasis en desarrollar el potencial del desierto de Atacama en Chile. Este proyecto nace en 2012 como proyecto FONDAP. Más antecedentes sobre SERC se pueden encontrar en www.sercchile.cl

1 INTRODUCCIÓN

La energía es un tema estratégico para el desarrollo del país. Chile enfrenta una creciente demanda, con un incremento medio del consumo de energía de 5% por año hasta el 2030 (MAPS Chile 2014). En el caso de la energía eléctrica, se espera que el consumo se duplique en el periodo 2013 – 2030, asumiendo un crecimiento esperado del PIB del 4% (MAPS Chile, 2014). Esta estimación es consistente con las proyecciones que establecen que las economías emergentes serán las principales responsables del crecimiento del consumo energético en el mercado mundial en las próximas dos décadas⁶.

Al mismo tiempo, Chile es un país altamente dependiente del mercado internacional para satisfacer su demanda energética. Según el Balance nacional de energía del 2012, el país importa el 60% de su energía primaria lo que genera condiciones de vulnerabilidad frente a la inestabilidad y volatilidad de los precios en los mercados internacionales y las restricciones de abastecimiento que se pueden producir por fenómenos políticos, climáticos o de mercado (Ministerio de Energía, 2014).

En cuanto a los costos de la energía, éstos han aumentado de manera importante en la última década tanto para el sector regulado como para los clientes libres del sistema eléctrico chileno. Al 2013, las cuentas de electricidad de las familias chilenas han sido un 20% superior respecto al año 2010 y se espera un alza del orden del 34% en la próxima década, de mantener las condiciones actuales. Por su parte, para los clientes libres se han duplicado los precios de la energía en la última década, alcanzando los precios más altos en América Latina, lo que significa un impacto negativo en la competitividad del país (Ministerio de Energía, 2014).

Refrendando lo anterior, a continuación se presenta un extracto de los resultados del estudio del World Economic Forum, con datos del año 2013 (WEF, 2014), que se resumen en las figuras siguientes. Se puede apreciar que Chile posee uno de los costos de la electricidad a nivel industrial más altos de Sudamérica, sólo superado por Brasil, y dentro de los más altos de Latinoamérica y el Caribe. Igualmente, a nivel mundial, nuestro país se encuentra en el primer cuartil de los países con el más alto precio de la electricidad a nivel industrial. En efecto, Chile se ubica en el lugar número 13 -de un total de 124 países que aparecen en la submuestra-, entre las naciones con los mayores precios de electricidad para la industria.

⁶Información publicada en la página web de la Comisión Nacional de Energía. Disponible en: <http://www.cne.cl/estudios/estudios>

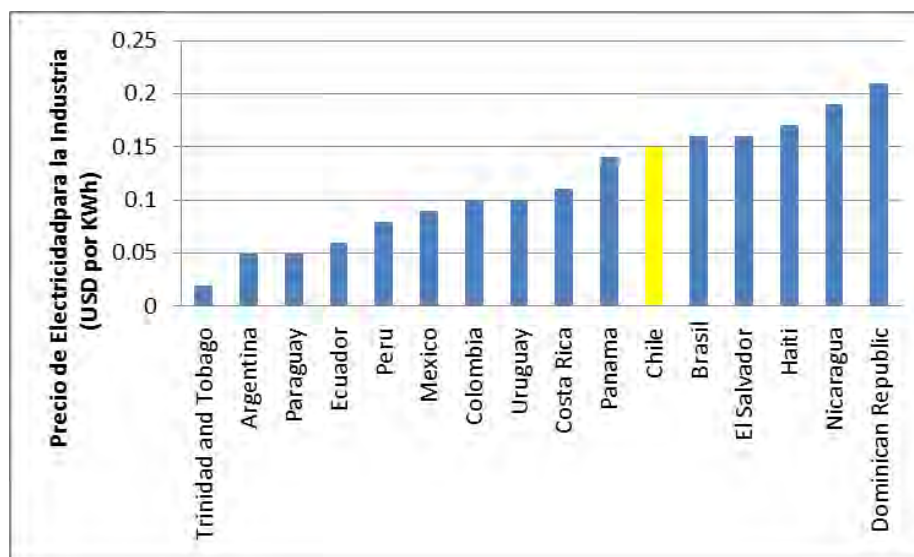


Figura 1: Precio de la electricidad a nivel industrial en países de Latinoamérica y el Caribe.

Fuente: WEF (2013)

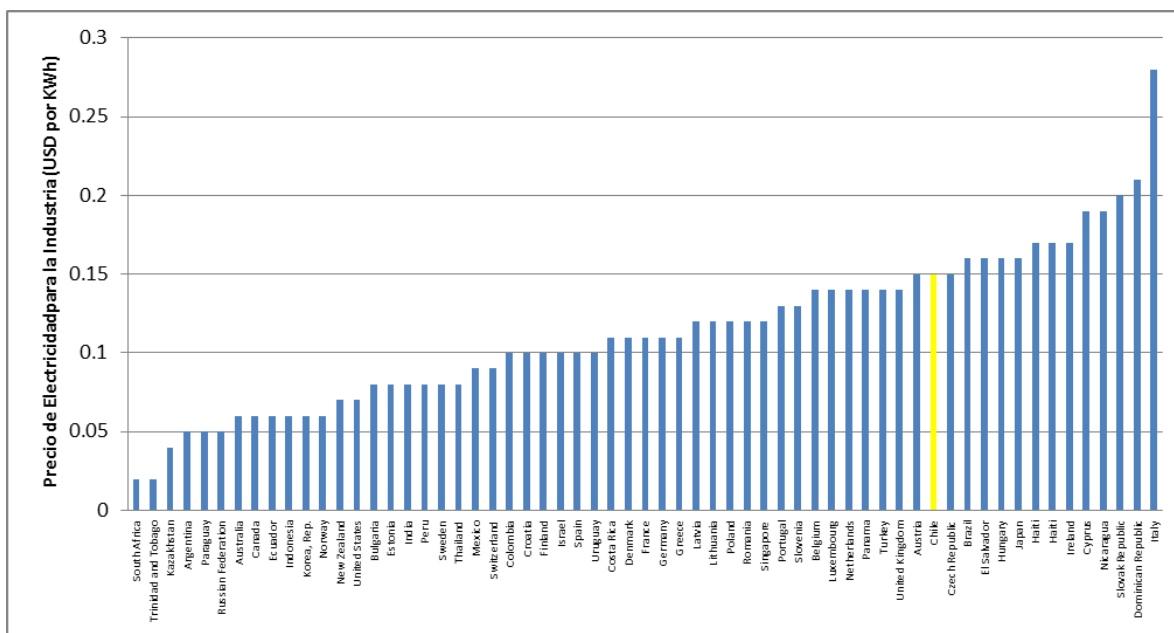


Figura 2: Precio de la electricidad a nivel industrial en el mundo. Fuente: WEF (2013)

Como parte de la política nacional para hacer frente a este aumento sostenido de la demanda, el estado de Chile, a través de sus diferentes gobiernos, ha impulsado políticas para apoyar el desarrollo sostenible del país propiciando la participación de energías renovables en la matriz energética. Este objetivo se plantea en la estrategia Nacional de Energía 2012-2030, en la

Agenda de energía 2014 y se plasma en instrumentos concretos como la Ley 20/25⁷ que busca fomentar la inclusión de las energías renovables estableciendo una meta mínima de un 20% de penetración al 2025.

El recurso solar, debido al gran potencial del que dispone el país, se espera juegue un rol importante en la generación de energía en el mediano y largo plazo. Para fijar órdenes de magnitud, basta indicar que utilizando una superficie de unos 40x40 kilómetros se podría *triplicar* la actual generación eléctrica en Chile. Y esto con solo un 30% de factor de ocupación del suelo y un 15% de rendimiento de conversión (Román, 2014).

Las excelentes condiciones de energía solar disponibles en el norte de Chile son reconocidos desde los inicios del desarrollo de la energía solar. *Las condiciones de radiación solar en el desierto de Atacama son casi con certeza, las mejores disponibles sobre la superficie de la tierra.* La combinación de cercanía al Ecuador, altura (baja masa atmosférica), casi nulas precipitaciones y casi cero nubosidad general condiciones excepcionales a nivel mundial.

Alemania, un país estratégico en la industria solar, es un país con altos niveles de nubosidad, donde la radiación en el sur del país es similar a la que existe en Coyhaique. Esto lleva a que el factor de planta medio de los sistemas de generación eléctrica que operan en Alemania está bajo el 9%. A modo de comparación, en Chile desde la zona Central al norte son esperables factores de planta del orden del 15 a 20% para sistemas sin seguimiento y de 25 a 34% para sistemas con seguimiento en un eje. Esta realidad implica que en Chile 1 m² de panel solar produce de 2 a 3,5 veces más energía que en Alemania, por lo que es esperable que el costo de generación sea menor.

A la fecha, los proyectos de generación con energía solar son los principales proyectos de renovables dentro del sistema de evaluación ambiental, alcanzando niveles de competitividad por la baja sostenida de los costos en la producción de energía solar y la persistencia de precios altos en el sistema eléctrico chileno.

Esta coyuntura que entrega una oportunidad histórica para el desarrollo de proyectos de energía solar ofrece la posibilidad de mejorar el rendimiento de las diferentes tecnologías y garantizar la participación en el tiempo de la energía solar, manteniendo su tendencia a la baja en los costos, de tal manera que siga siendo competitiva bajo condiciones de mercado menos favorables a las renovables. Este desafío exige respuestas técnicas, institucionales, normativas y sociales a las autoridades nacionales y locales, privados y universidades.

⁷“Gobierno promulga Ley 20/25 y anuncia entrada en vigencia de Ley de Concesiones”, Ministerio de Energía, Octubre 14, 2013. <http://www.minenergia.cl/ministerio/noticias/generales/gobierno-promulga-ley-20-25-y-anuncia.html>

La consolidación del uso intensivo de energía solar podría aumentar la seguridad energética a través de la dependencia de un recurso propio, inagotable y sustentable. Al mismo tiempo, la masificación del uso del recurso solar podrá contribuir a reducir la contaminación, reducir los costos de la mitigación del cambio climático, y controlar el efecto sobre la economía nacional de las variaciones en el precio de los combustibles fósiles (AIE, 2011).

En este contexto, el Ministerio de Energía, mandató al Centro de Energía (CE) de la Universidad de Chile la realización de un estudio para “Definir una propuesta para el desarrollo de un cluster de energía solar en la Región de Antofagasta”.

El presente documento es el informe final de este estudio que tiene por objetivo definir una propuesta para el desarrollo de un cluster de energía solar en la Región de Antofagasta que se construyó a partir del diagnóstico de la situación de la Región de Antofagasta y del país para el desarrollo de la industria solar y el análisis de los principales lecciones y desafíos que enfrenta la industria. Con estos antecedentes se elaboró una propuesta de estrategia junto con una propuesta de implementación a corto, mediano y largo plazo para el desarrollo de un cluster de energía solar en la Región de Antofagasta.

El enfoque conceptual para la elaboración de esta propuesta se basa en el enfoque de cluster de Michel Porter, por lo que se incluyó como parte del análisis un diagnóstico del macro ambiente de negocios de la industria (análisis PESTA), análisis del sistema de valor de las industrias fotovoltaica, de concentración solar de potencia (CSP) y termosolar; mediante el modelo de cinco fuerzas de Porter y análisis de las ventajas competitivas de la región de Antofagasta basado en la metodología del diamante de Porter.

La estrategia de recolección de información contempló la revisión de fuentes secundarias internacionales, de estudios previamente realizados por el Centro de Energía de la Universidad de Chile⁸ y estudios entregados por el Ministerio de Energía. Adicionalmente, se realizaron entrevistas a actores claves de la industria en el país y a nivel internacional, junto con un taller de presentación de resultados del diagnóstico y propuesta de estrategia con actores de la región de Antofagasta.

En función de los objetivos planteados para el desarrollo de este estudio se trabajó en torno 3 etapas metodológicas (concordantes con los objetivos del estudio), las que se presentan en la siguiente figura.

⁸ Las referencias de los estudios consultados para este informe se encuentran a partir de la página 148 del presente documento.

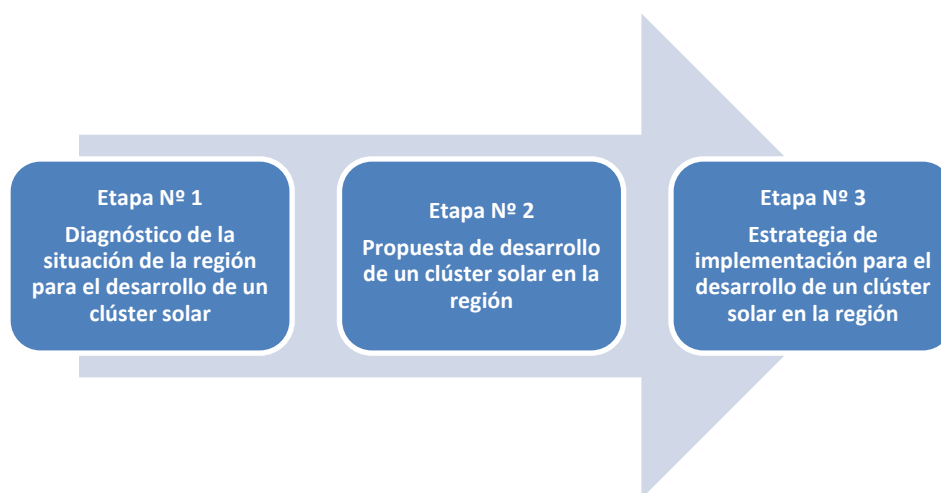


Figura 3: Propuesta metodológica. Fuente: Elaboración propia

En el capítulo 2 de este documento se presenta el marco conceptual y alcance del estudio, incluyendo una descripción de las principales tendencias de la industria y tecnología solar a nivel internacional y nacional. En el capítulo 3 se presenta el diagnóstico de la situación de la Región de Antofagasta en torno al tema de energía solar y su potencial para el desarrollo de un cluster, lo que contempla la descripción de la situación actual de la Región de Antofagasta en materia de energía solar; la estimación de la demanda nacional e internacional asociada esta tecnología; la identificación y descripción de capacidades de otras regiones del país que pudieran potenciar el desarrollo del cluster solar en Antofagasta para finalmente concluir con el diagnóstico del potencial de la Región de Antofagasta para la implementación de un cluster de energías solar de calidad.

En el capítulo 4, se presenta el análisis de los principales antecedentes y desafíos que conlleva la promoción de cluster, con énfasis en cluster de energía solar a partir del análisis de benchmarking e identificación de buenas prácticas de cluster solares exitosos, la recopilación de antecedentes a partir de entrevistas a expertos en energías renovables, y la descripción y análisis de barreras técnicas, económicas, institucionales y legales para el desarrollo de un cluster de energía solar en la Región de Antofagasta.

Considerando en análisis de los capítulos anteriores, en el capítulo 4 del documento se presenta la propuesta para el desarrollo de un cluster de energía solar en la Región de Antofagasta, lo que contempla la identificación de lineamientos para su foco técnico y estratégico y los antecedentes de una estrategia de implementación que incluye objetivos y acciones a corto, mediano y largo plazo para el desarrollo de un cluster de energía solar en la Región de Antofagasta; junto con una propuesta de estrategia de implementación.

Finalmente, en el capítulo 5 se presentan las principales conclusiones del estudio.

Adicionalmente, se ha incorporado un apartado con todos los anexos que respaldan a este documento.

2 ANTECEDENTES DE CONTEXTO

2.1 MARCO CONCEPTUAL

Los cluster pueden ser definidos como una **concentración de empresas** capaces de producir sinergias debido a su proximidad geográfica y a las interdependencias existentes entre ellas (Rosenfeld, 1982), que a su vez generan externalidades positivas (*“spill-overs”* de conocimiento, economías de escala de aglomeración, etc.) **contribuyendo a mejorar los niveles de competitividad** del conjunto del cluster y de la economía en general⁹. Por sus características y operación, los cluster permiten explicar y comprender los factores determinantes de la competitividad desde una perspectiva regional (INFYDE, 2013).

Los cluster, están conformados por instituciones industriales, de gobierno, académicas, de investigación y financieras co-localizadas y vinculadas para la colaboración. Este tipo de sistema de gobernanza industrial, es fundamental para el desarrollo de un entorno microeconómico de negocios exitoso. Éstos se caracterizan por:

- Potenciar una intensa dinámica de relaciones de cooperación y rivalidad local que estimula el mejoramiento continuo e innovación; fundamentos para una base de oferentes y demandantes más sofisticada y diversa.
- Facilitar la colaboración organizada a través de diversas instituciones para la coordinación como las organizaciones profesionales, cámaras de comercio, organizaciones de cluster, etc., junto con facilitar la interacción informal basada en redes personales que tienen el potencial de alimentar conversaciones creativas que potencien la coproducción de soluciones ad hoc a los problemas que la industria va enfrentando en el tiempo
- Generar una competencia dinámica que emana de la entrada de nuevas empresas, incluyendo spin-offs de grandes entrantes.
- Generar vínculos con industrias relacionadas, compartiendo grupos de talento y nuevos avances tecnológicos¹⁰

Para el desarrollo de un cluster es posible evidenciar dinámicas autónomas, en que las empresas se localizan en torno a un polo de desarrollo y articulan ex post relaciones de cooperación. Al mismo tiempo, existen iniciativas de cluster (IC), que en función de la identificación de una

⁹ Es esperable que la contribución a la competitividad de los cluster se traduzca en impactos positivos sobre el PIB y el empleo, pero de manera particular sobre la composición de la estructura productiva, propendiendo hacia la generación de valor en los eslabones más sofisticados de la cadena de valor

¹⁰ Más antecedentes sobre la propuesta conceptual de Michel Porter para el estudio de cluster en anexo 1.

oportunidad de mercado buscan favorecer y acelerar el crecimiento y consolidación de los cluster ligados a un territorio, a partir de la coordinación para la colaboración entre empresas de la actividad y conexas, instituciones públicas y la comunidad investigadora (lo que se conoce como la triple hélice regional)¹¹. La iniciativa de cluster es la institucionalidad que en ocasiones se pone en marcha para representar a los diferentes integrantes del cluster. Las etapas que comprenden una IC son:

1. Lanzamiento y crecimiento, en la que la IC integra a los miembros más relevantes del cluster, define prioridades y un plan estratégico a mediano y largo plazo.
2. Consolidación, en la que la IC define una serie de servicios, dinámicas colaborativas y actuaciones cada vez más sofisticados dirigidos a reforzar la confianza y el capital social.
3. Reinversión, mediante la ampliación de las fronteras del cluster y su intersección con dominios tecnológicos de otros cluster, dando lugar a innovaciones radicales y la aparición de nuevas oportunidades de negocio
4. Cluster de categoría mundial, cuando la consolidación y el crecimiento de la IC llegan a su máximo en un territorio y surge la necesidad de orientar globalmente al cluster, desembocando en la formación de cadenas de valor global.

Como parte de la definición de una estrategia de cluster, se considera la planificación de las cuatro etapas mencionadas anteriormente, junto con un proceso paralelo de monitoreo y seguimiento.

Si bien existe una gran oportunidad de desarrollo de la energía solar en el país, que dice relación con las excelentes condiciones de radiación del norte de Chile, que lo sitúan como un polo de desarrollo de energía solar para Sudamérica, y su cercanía, con una demanda permanente y creciente para los próximos 30 años existen desafíos asociados a transformar esta oportunidad en un impulso al desarrollo científico y tecnológico del país; transformar los incipientes grandes proyectos en una oportunidad para ser parte del desarrollo completo sin restringirse a la simple “compra de tecnología”; y la oportunidad de pensar y transformar la matriz energética, donde su pilar se sostenga en energías renovables, en particular energía solar, en un plazo no mayor a 30 años.

Todo ello comprende una serie de requerimientos que habrá que abordar para enfrentar los desafíos asociados al desarrollo de la energía solar en Chile, como generar alianzas estratégicas,

¹¹ Más recientemente a estas tipologías se le ha incluido una adicional (cuádruple hélice) centrada en comunidades de usuarios (e incluso la sociedad en general).

involucrar a la sociedad desde un inicio, fortalecer la formación y el rol de las instituciones, además de dar seguimiento a los indicadores correspondientes.

Desde una perspectiva más específica, dentro de los principales desafíos que se identifican en la promoción y desarrollo de un cluster solar para la región de Antofagasta se pueden considerar diversos elementos a relevar, en términos institucionales, económicos, sociales y técnicos.

- En primer término, es necesario dinamizar e impulsar el sector de la energía solar en la región de Antofagasta, fomentando para ello la innovación y el uso intensivo de este recurso como elementos fundamentales de su desarrollo, con el objeto de lograr la constitución de un sector altamente competitivo, tanto a nivel nacional como internacional. Existe la necesidad de generar energía más limpia y económica, así como disponer de agua, en especial para procesos mineros. En este sentido, la tecnología actual permite el desarrollo de procesos más eficientes con menor impacto ambiental, como también hay espacio para la innovación.
- Luego, el gran desafío es transformarse desde un país que explota y exporta materias primas con poca elaboración, a uno capaz de desarrollar, crear y mejorar tecnologías, donde la industria solar ofrece una oportunidad de desarrollo.
- Paralelamente, se deben fomentar actividades de formación e investigación en el sector de la energía solar, principalmente en la tecnología CSP, donde se identifica que existe un importante espacio para innovar.
- Adicionalmente, es fundamental lograr el desarrollo de un tejido empresarial fuerte que pueda competir en todo tipo de mercados y que además traccione la demanda por el recurso. Para el desarrollo de la industria existe una serie de barreras¹² que deben identificarse y resolverse de manera colaborativa para ser asertivos en la solución.
- Finalmente, es esperable lograr la plena internacionalización del sector, aprovechando las oportunidades en proyectos colaborativos con otros cluster en el ámbito nacional e internacional. Se deben aprovechar las notables oportunidades para países como Chile, en el contexto de un proceso inminente de transformación global de la industria de la energía, para pasar de ser exportadores basados en recursos hacia ser productores y exportadores de tecnología y conocimiento.

¹² Algunas barreras que podrían obstaculizar el desarrollo empresarial son: estructuración de contratos de ventas de energía (SING), conexión a las redes de transmisión de acceso abierto (SING), involucramiento de comunidades afectadas por proyectos energéticos (SIC), establecimiento de servidumbre para el paso de líneas de transmisión (SIC), dificultad de coordinación entre proyectos ERNC para acceder a una solución común en transmisión (SIC), y dificultad de acceso a terrenos. Para más antecedentes consultar capítulo 3 de este informe.

Esta dinámica favorable hacia la energía solar, abre además la puerta para fomentar el uso de otras energías renovables mejorando la sustentabilidad, a través de la reducción de los impactos locales y globales del sector energético (principalmente eléctrico) y otros sectores del país. En este sentido, se debe utilizar las necesidades y desafíos propios como impulsores para la construcción de un sistema energético sostenible en Chile, aprovechando de disminuir la huella de carbono de la industria y minería y reducir los costos energéticos.

Operar bajo una lógica de cooperación para el desarrollo de la industria, debiese a la vez facilitar la difusión de un mayor conocimiento e involucramiento de la comunidad y las autoridades locales respecto de las energías renovables. Lo que permitirá transmitir a la sociedad una imagen de buenas prácticas empresariales en el sector energético, en línea con la nueva Política Energética de largo plazo que se espera desarrollar, que debiese construirse con validación social, política y técnica, configurada de manera abierta y participativa.

Por último, desde el punto de vista tecnológico se deben mejorar diversos aspectos, como la interconexión de sistemas, aumentar el respaldo y la eficiencia, desarrollar y fomentar tecnologías de cogeneración, entre otros, al tiempo que explotar nichos y aumentar la inversión y capital de riesgo. Todo esto enmarcado en un trabajo vinculado entre el Estado, la industria, la academia y la sociedad en general.

Todos los aspectos mencionados previamente han sido parte de discusiones desarrolladas por el equipo técnico, en particular los profesores Roberto Román y Rodrigo Palma, en innumerables reuniones de trabajo con expertos mundiales de la tecnología y la industria solar, en las que han ratificado que son ejes fundamentales para el desarrollo de un cluster solar. En particular tres de estas reuniones, dada su relevancia, han sido traspasadas a actas e incluidas como parte de los aportes que serán considerados en la definición de la estrategia de cluster solar para la región de Antofagasta.

2.2 ALCANCE DEL ESTUDIO

La aplicación de este marco conceptual exige una definición del alcance del estudio, en este caso, pensando en el desarrollo de un cluster solar en la región de Antofagasta, la industria solar se define sobre la base de la descripción de los sistemas de valor de su principales aplicaciones tecnológicas: fotovoltaica, de concentración solar de potencia (CSP) y termosolar.

En la figura siguiente se sintetiza el sistema de valor y cada una de las cadenas de valor que comprende conceptualmente, actividades principales de producción y marketing y ventas y actividades de apoyo de infraestructura de la empresa, finanzas, gestión de recursos humanos, tecnología y adquisiciones.

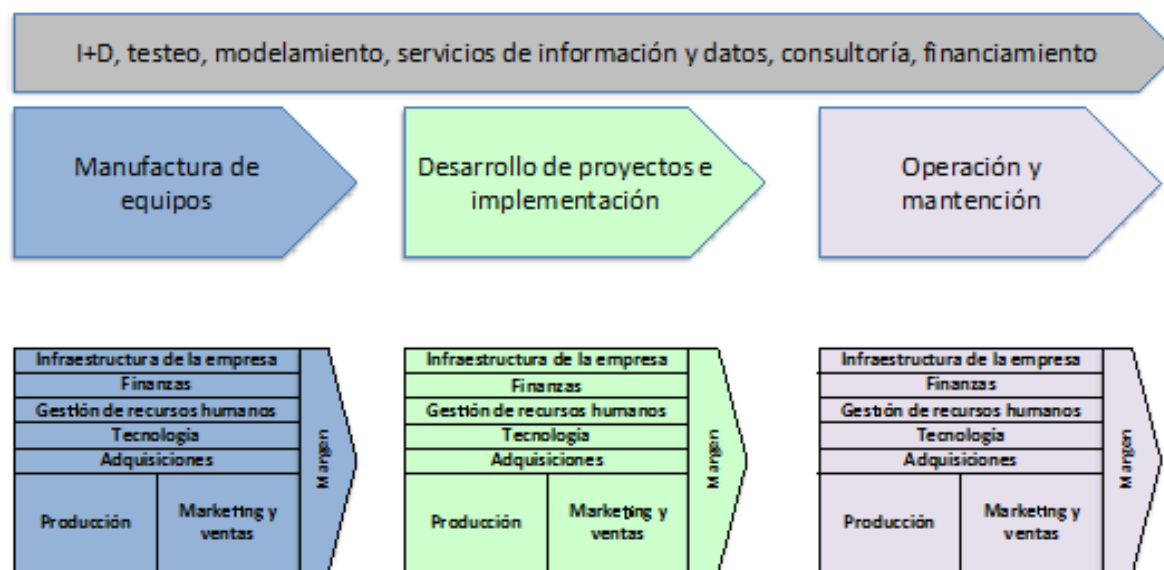


Figura 4: Sistema de valor. Fuente: Elaboración propia

Por su parte, la definición geográfica del Cluster responde a los requerimientos de la contraparte, centrando el estudio en el análisis de las cinco fuerzas para la región de Antofagasta. A partir del estudio se busca identificar las oportunidades con que cuenta la segunda región para ser el centro de un cluster solar en Chile de clase mundial o jugar un rol estratégico en el desarrollo de esta industria a nivel nacional, logrando sinergias y complementariedades con empresas, actores e instituciones ubicadas a lo largo de todo el país y a nivel global.

En particular, la definición de una propuesta de desarrollo de un cluster solar en la región de Antofagasta, exige la búsqueda de mecanismos de apoyo para generar y capturar el máximo de valor agregado en la región, buscando la asociatividad con el resto de los actores nacionales del cluster (identificados en el sistema de valor de la industria), pero **incentivando la localización de la mayor proporción de actores en la región de Antofagasta** de tal forma de propender al desarrollo económico y social de la región.

2.3 TECNOLOGÍAS SOLAR Y SU EVOLUCIÓN

Existen tecnologías asociadas a cada uno de los métodos básicos de conversión solar, conversión biológica, térmica y directa¹³.

2.3.1 Conversión térmica

Las tecnologías que usan la conversión térmica se clasifican en dos grandes familias:

1. **Sistemas sin concentración:** el elemento captor sólo recibe la radiación solar incidente natural. Es el campo de colectores planos, sistemas de tubo evacuado y sistemas especializados (por ejemplo tecnología cilindro parabólico compuesto (CPC). Tienen la ventaja de poder operar con radiación directa y difusa. Además, no requieren reorientación (pueden ser totalmente estáticos o solo requerir ajustes estacionales). Tienen la desventaja de que no permiten trabajar a temperaturas mucho más allá de los 100°C.
2. **Sistemas con concentración:** al elemento captor llega un flujo solar mayor que el natural. Esto típicamente se logra por sistemas de espejos y/o lentes. El mayor flujo puede ser desde decenas hasta miles de veces el flujo solar natural. Tienen la ventaja de poder trabajar a temperaturas muy elevadas (desde cientos hasta miles de grados de temperatura), pero tienen la desventaja de que solo aprovechan la radiación directa si el flujo es elevado. Por lo tanto no funcionan en condiciones de nubosidad.

La tecnología de sistemas **sin concentración** está bastante madura, con amplia variedad de productos, calidades y precios a nivel mundial. Aún hay desarrollos que buscan reducir costos y aumentar confiabilidad.

Los sistemas **con concentración** están en plena evolución. Es un campo muy activo con una muy amplia gama de investigación y desarrollo. A continuación se presentará, de manera simplificada, las tecnologías y como están evolucionando.

¹³ Para utilizar la radiación solar, existen tres grandes formas de realizar su conversión. Estas son:
Conversión biológica: es lo que se logra con la fotosíntesis. Básicamente los fotones activan la clorofila y las plantas son capaces de fabricar complejos compuestos químicos a partir de la energía del sol. Es la base de la vida en la tierra. La magnitud total del carbón fijado por fotosíntesis era bastante mayor a lo inyectado a la atmósfera por quema de combustible fósiles hasta los años 1970.

Conversión térmica: cuando la radiación solar se absorbe, se convierte en calor (energía térmica). La cantidad de calor generado dependerá de la intensidad de la radiación solar incidente y los mecanismos de transferencia de calor de la superficie absorbente. Esta conversión está detrás de los ciclos de los vientos, el ciclo hidrológico y varios fenómenos naturales más, pero también se utiliza de muchas maneras tecnológicas.

Conversión directa: en este caso, los fotones generan electricidad de manera *directa*. Es lo que se aprovecha en los paneles fotovoltaicos. Las primeras celdas fotovoltaicas prácticas datan de 1954 y es una tecnología en pleno desarrollo y evolución.

2.3.1.1 *Coletores sin concentración*

- **Estado del arte:** las tecnologías sin concentración permiten trabajar hasta temperaturas de 60 a 80°C en lugares con alta radiación solar. Para usos térmicos de pequeña escala son muy utilizados a nivel mundial.
- **Ventajas:** tienen la ventaja de aprovechar tanto la radiación solar directa como la difusa. Tienen la ventaja de poder ser sistemas estáticos (sin movimiento), lo que simplifica las instalaciones.
- **Perspectivas de desarrollo:** existe un mercado interesante en las aplicaciones industriales y mineras. Dicho mercado está en pleno desarrollo.

2.3.1.2 *Coletores con concentración*

a) **Concentradores cilindro parabólicos:**

- **Estado del arte:** sin duda es la más madura de las tecnologías termosolares. Se conoce muy bien su proceso de diseño, construcción y operación. Aún hay mucho espacio para utilizarlas.
- **Ventajas:** es tecnología más madura. Se ha masificado su uso, lo cual ha llevado a costos bajos (relativos) de construcción. Ya hay muchas con acumulación de energía. Las unidades se han estandarizado. Hay mucha experiencia operativa.
- **Desventajas:** no hay mucho potencial para aumentar de manera significativa el rendimiento. La apertura de los espejos implica carga significativa de viento. Debe existir un fluido calorportador a lo largo de todo el campo de captación. Esto implica bombas, intercambiadores de calor y pérdidas de energía por bombeo. No hay buena información en Chile con respecto a efectos del polvo.
- **Perspectiva y desarrollos:** aún hay espacio para seguir mejorando la tecnología y bajar costos. Hay un campo interesante de aplicación para generar calor a temperaturas medias/altas (por ejemplo para destilación solar). Hay trabajo a realizar en cuanto a materiales, procesos de fabricación y mejoras.

b) **Sistemas Fresnel:**

- **Estado del arte:** de todas las tecnologías de concentración, es la que menos desarrollo tiene. Sin embargo existe un esfuerzo significativo de investigación en el área.
- **Ventajas:** Al tener receptor fijo, se eliminan mucho de los problemas del receptor móvil (juntas, dilataciones, fugas). Los espejos soportan una carga de viento mucho menor. Al poder guardar los espejos de forma vertical, horizontal o incluso cara abajo, se minimizan problemas de viento y deposición de polvo. Como el receptor es fijo, es posible utilizar diseños de receptores con reflectores secundarios, lo que mejora eficiencia.
- **Desventajas:** La mayor desventaja es el (relativo) poco desarrollo de la tecnología. Además comparte la desventaja de todos los sistemas de foco lineal al no poder superar

concentraciones mucho más allá de 100 soles. No existe experiencia en Chile con respecto a temas relacionados con polvo.

- **Perspectiva y desarrollos:** Existe mucho espacio de investigación y mejoras. Como los elementos de fabricación son simples, sería sencillo fabricar de manera local. Tienen excelente perspectiva para poder generar calor. La sencillez constructiva debe llevar a precios por m² inferiores a los colectores planos. Es tecnología en plena evolución.

c) Sistemas de Paraboloide de Revolución, hornos solares y sistemas paraboloide de revolución

- **Estado del arte:** Es tecnología en evolución. No se trata de sistemas de producción en el caso de los hornos solares. Sin embargo hay investigación en producción solar de Hidrógeno, producción de tierras raras y otros procesos termoquímicos. En el caso de los motores Stirling, hay claros avances. Pero la tecnología fotovoltaica (sin concentración o con concentración) hace que al día de hoy es más caro que la fotovoltaica. Por lo tanto se trata de sistemas con fuerte carácter de investigación.
- **Ventajas:** Las excelentes condiciones de radiación solar en el norte de Chile brindan oportunidades inigualables para establecer centros de investigación. Habría interés en hacer proyectos conjuntos.
- **Desventajas:** Por el momento son nichos especializados. Pero tienen el potencial de crecer.
- **Perspectiva y desarrollos:** aún hay espacio para seguir mejorando la tecnología y bajar costos. Pero la mayor perspectiva es el desarrollar procesos novedosos que cambien de manera radical la utilización de la energía solar. Desde el desarrollo de nuevos materiales hasta procesos como producción solar de hidrógeno u otros.

d) Sistemas de Helióstato y Torre Central

- **Estado del arte:** Es tecnología en pleno desarrollo. Ya hay unidades en producción y se está aprendiendo como seguir bajando costos y aumentar la producción de potencia. Hay investigación de punta en temas sobre acumulación de energía a altas temperaturas, nuevos fluidos de transferencia térmico y nuevos ciclos termodinámicos. Dentro de los sistemas termosolares, sin duda es la tecnología con mayor potencial de mejora pues puede trabajar con temperaturas muy elevadas.
- **Ventajas:** Como la energía se transmite de manera óptica desde el campo hasta el receptor (la torre), casi no existen pérdidas por transmisión. Es el método más flexible para generar energía eléctrica.
- **Desventajas:** Por el momento son los costos son aún más elevados que otras tecnologías termosolares.

2.3.1.3 Perspectiva y desarrollos de la tecnología termosolar

- ✓ El área tecnológica termosolar es donde se están produciendo las **mayores mejoras y cambios**.
- ✓ En lugares con **alta radiación solar**, la tecnología termosolar debería ser dominante. Incluso hay desarrollos de sistemas de pequeña potencia (de algunos centenares de kW) pensados para funcionar de manera híbrida con energía solar y gas.
- ✓ La conversión térmica de energía solar tiene sectores de **gran madurez** (colectores planos y de tubo evacuado), sectores **próximos a alcanzar la madurez** (sistemas cilindro parabólicos) y sistemas en **pleno desarrollo** (sistemas de heliostato y torre central; sistemas Fresnel; hornos solares).
- ✓ La cantidad de energía obtenible depende fundamentalmente de la cantidad de radiación disponible. Desde ese punto de vista, **el Norte de Chile tiene ventajas evidentes** frente a otros lugares del mundo.
- ✓ Existe un significativo potencial de incorporar la energía solar en los **procesos mineros**, sea como aporte térmico o como generación eléctrica.
- ✓ Existe **mucho espacio para desarrollar e investigar**. Esto implica oportunidades de investigación, innovación y desarrollo, lo cual es muy importante al momento de concebir un cluster de desarrollo en energía solar.
- ✓ Respecto al almacenamiento, este se encuentra comercialmente disponible en el caso de los cilindros parabólicos y sistemas de torre solar y es factible de desarrollarse, pero aún no se dispone de manera comercial, en las otras tecnologías, como fresnel lineal, disco Stirling, etc.
- ✓ Los costos de capital de la tecnología CSP varía entre USD4.000 a 10.000/kW instalado (las diferencias se deben al grado de madurez y capacidad de acumulación: desde cilindro parabólico sin almacenamiento a torre solar con almacenamiento). Ello implica un “break even” de USD150 - 200/MWh dado que el factor de planta es de 2 a 3 veces el de los sistemas FV). Existen importantes perspectivas de reducción de costos, como se explica en la sección 2.4.5.
- ✓ Existen una serie de desarrollos, dadas las limitaciones de los aceites sintéticos y sales fundidas como medio de transferencia de calor, que han llevado a la investigación de una serie de alternativas, tales como vapor sobrecalentado; sales ternarias; almacenamiento de grafito; almacenamiento de cerámica; y rocas, guijarros, y escoria. También en partes y piezas, lo que se desarrolla en la sección 2.4.3.

2.3.2 Conversión directa, fotovoltaica

La conversión directa se logra por *fotoceldas*, que absorben los fotones de la radiación solar liberando electrones que conforman una *fotocorriente*. La cantidad de energía eléctrica que se

genera depende fundamentalmente de la *intensidad* de la radiación solar. El voltaje y el rendimiento dependerán fundamentalmente del tipo de semiconductor.

Síntesis de las características principales:

- **Estado del arte:** Es tecnología que a la vez está madura y en pleno desarrollo. Nuevos tipos de celdas y procesos de fabricación permitirán bajar aún más los costos. Hay gran espacio de investigación y desarrollo en la parte sistemas, incluyendo sistemas de control y potencia.
- **Ventajas:** Pueden operar con radiación directa y difusa. Tienen larga vida útil y casi no hay elementos móviles. Pueden instalarse desde potencias de algunas decenas de Watts hasta muchos Megawatts.
- **Desventajas:** puede haber problemas de estabilidad en grandes sistemas. Falta resolver el problema de acumulación de energía para poder producir más horas y de manera más estable. En el caso de Chile aún existe poca información con respecto a la estabilidad de los paneles y su degradación debido a altas cantidades de UV en nuestro norte.

2.3.2.1 Perspectiva y desarrollo de la tecnología fotovoltaica

A pesar de ser un campo que ya ha tenido enormes avances, aún existen grandes espacios de mejora tanto en los paneles, los sistemas y el funcionamiento de los mismos.

Sólo a modo de ejemplo, el tema de acumulación en el corto o mediano plazo (desde segundos hasta una o dos horas) permitirían aumentar enormemente la posibilidad de ingreso de energía FV a nuestros sistemas eléctricos. El CDEC-SING ha realizado estudios que demuestran que, sin mayores cambios, se pueden incorporar hasta unos 450 MW de generación de ERNC (principalmente FV) sin grandes problemas de estabilidad de red.

También en el norte está planificado el proyecto *Valhalla*, que pretende combinar la generación fotovoltaica con acumulación de energía elevando agua de mar. Los precios actuales hacen que este proyecto pueda ser hoy competitivo (Concha, 2013).

2.4 ESTADO DEL ARTE DE LA INDUSTRIA A NIVEL INTERNACIONAL

Para el año 2014, las energías renovables (incluyendo hidroelectricidad) a nivel global comprenden el 26,4% de la capacidad mundial de generación eléctrica. En total suman 1.560 GW (Zervos, 2014). En cuanto a generación solar, se divide en aplicaciones para generar calor y aplicaciones para generar electricidad. A la vez, estas últimas se subdividen en generación por sistemas fotovoltaicos (FV) y generación por sistemas termosolares. La situación general se resume a continuación.

2.4.1 Generación térmica

Gran parte de la generación térmica es para agua caliente sanitaria. En la figura siguiente se observa la evolución de este mercado entre el año 2000 y el 2013. Se calcula que la capacidad total instalada a nivel mundial equivale a 326 GWt.

Vale la pena destacar que del total mundial, un 80% está en China, la que ha aumentado más de 5 veces entre el año 2000 y el 2013.

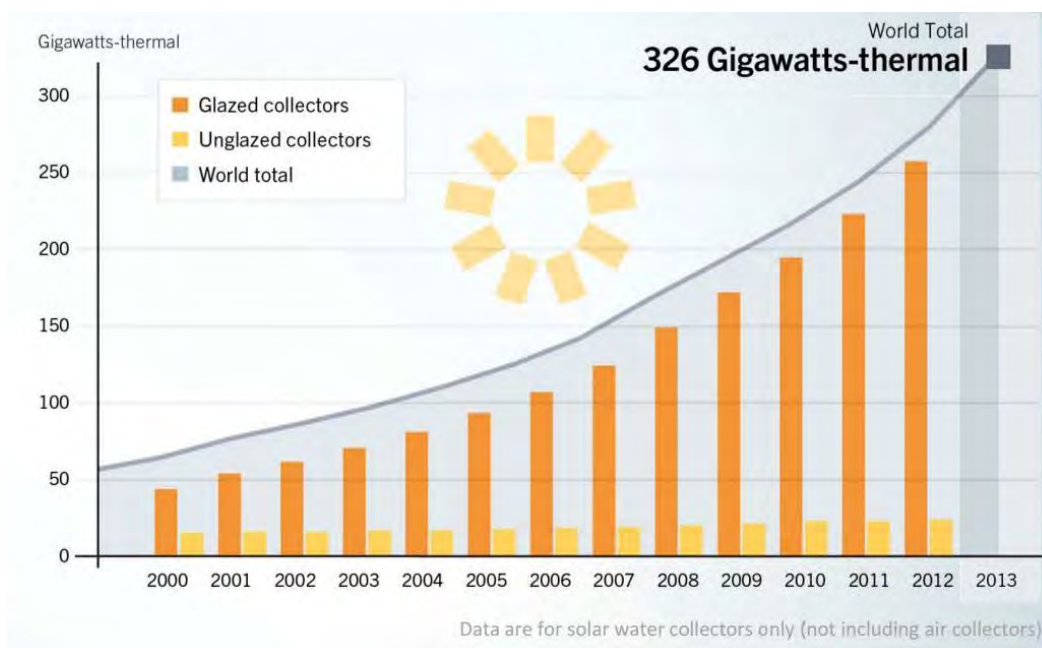


Figura 5: Capacidad Mundial Colectores Solares Térmicos . Fuente: REN21 Global Status Report 2014

En la figura citada aún no tienen mayor impacto los proyectos mineros de Chile. En efecto, los mismos están activos solo desde mediados del 2013, pero su efecto aparecerá en reportes futuros.

Por consiguiente, se puede concluir que es un sector muy activo con capacidad significativa de crecimiento.

Se estima que 53,7 GWth (casi 97%) del mercado son sistemas de agua con placa de absorción térmica (esmaltados) y el resto, sistemas de agua sin esmaltar principalmente para calentamiento de piscinas (3%), así como los sistemas de colectores de aire con y sin placa de absorción (<1%). Los sistemas de agua con y sin placa de absorción proporcionan un estimado de 239,7 TWh (863 PJ) de calor anualmente.

La gran mayoría de la capacidad de calor solar se encuentra en China, que representa el 86% del mercado mundial y el 64% de la capacidad total del año 2012. Los países con mayor capacidad añadida en 2012, incluyendo los sistemas con y sin placa de absorción, fueron China, Turquía, India, Brasil y Alemania.

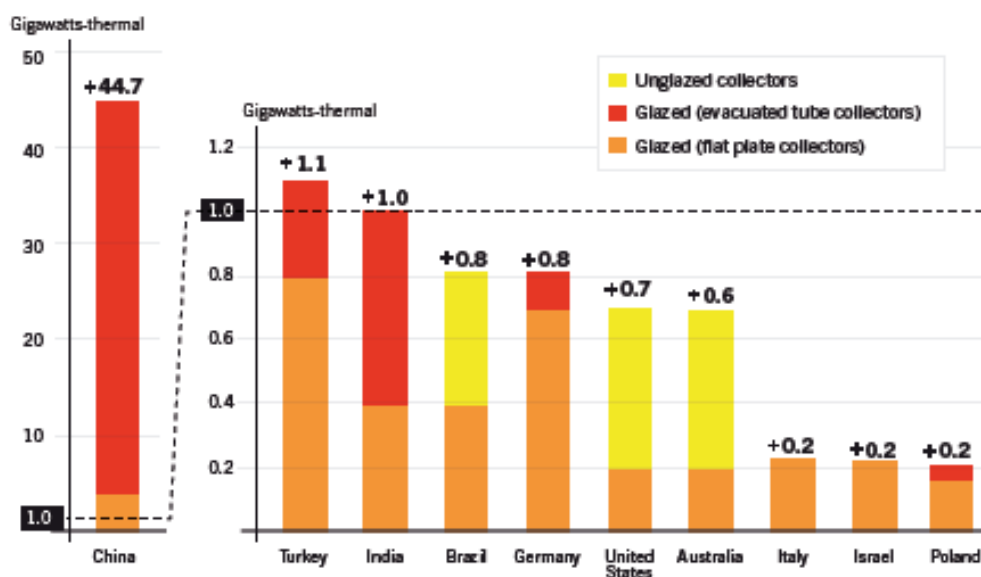


Figura 6: Capacidad mundial agregada en 2012 de Colectores Solares Térmicos (países top 10).

Fuente: REN21 Global Status Report 2014

La mayoría de los sistemas de energía solar térmica se utilizan para agua caliente sanitaria (ACS), y por lo general abastecen 40-80% de la demanda. Hay una tendencia para el desarrollo de sistemas ACS más grandes para hoteles, escuelas, hogares multifamiliares y otros grandes complejos. El uso de sistemas de energía solar térmica para la calefacción también está ganando terreno, sobre todo en Europa central, donde se han probado edificios 100% calefaccionados con energía solar (normalmente el solar abastece 15-30% de la demanda de calefacción).

"Sistemas-combinados", que suministran calefacción y ACS, representan alrededor del 4% del mercado de la calefacción térmica solar global. Son más comunes en Europa (sobre todo Austria, Alemania, Italia y Polonia) y representan alrededor del 40% de los sistemas instalados en Austria y Alemania. La calefacción solar térmica se puede combinar con diferentes fuentes de calor de respaldo, y los sistemas híbridos con bombas de calor están ganando popularidad en Europa (REN21, 2014).

2.4.2 Generación fotovoltaica

Esta es un área en plena expansión. El crecimiento ha sido motivado tanto por políticas específicas (en particular las tarifas feed-in) como el desarrollo y maduración de tecnologías que han llevado a una disminución muy grande de los precios (un factor de más de 4) entre el año 2000 y el 2013. A fines del año 2013 la capacidad mundial de generación FV ya sobrepasó los 139 GW, tal como se ve en la figura siguiente. Se observa que desde el año 2004 la capacidad ha aumentado en más de 30 veces. Sólo el año 2013 se agregó una capacidad de 39 GW. Esto indica que aún hay un espacio muy grande de crecimiento.

En cuanto a los países con mayor capacidad, los principales actores se ven en la figura siguiente. El país con mayor capacidad de generación es Alemania (con 37 GW), seguido de China (con 18 GW), el cual agregó 11,8 GW sólo el año 2013. Por lo tanto es de esperar que en poco tiempo supere la generación de Alemania.

A finales de año, 5 países tenían por lo menos 10 GW de capacidad total, frente a 2 países en 2012, y 17 tenían al menos 1 GW. Los líderes de la energía solar fotovoltaica por habitante el 2013 fueron Alemania, Italia, Bélgica, Grecia, la República Checa y Australia

La participación de energía fotovoltaica comercial y de propiedad de empresas de servicios siguió aumentando en 2013, pero el sector residencial también registró un fuerte crecimiento de la capacidad. Muchas empresas están presionando en contra de la expansión de la energía fotovoltaica distribuida en varios países, debido a las preocupaciones sobre la base de clientes y la reducción de la pérdida de ingresos. En Europa, por ejemplo, algunas empresas de servicios públicos están bloqueando el autoconsumo mediante el establecimiento de cuotas, elevando las tasas en los clientes con sistemas fotovoltaicos. De esta forma las principales empresas de servicios están actuando para desacelerar o detener el avance de la energía solar fotovoltaica (REN21, 2014).

La energía solar FV está empezando a jugar un papel importante en la generación de electricidad en algunos países, abasteciendo un estimado de 7,8% de la demanda anual de electricidad en Italia, cerca de un 6% en Grecia, 5% en Alemania, y los peaks diarios más altos en muchos países. A fines de año, la Unión Europea (UE) tenía suficiente capacidad fotovoltaica solar para satisfacer aproximadamente el 3% del consumo total (frente al 0,3% en 2008) y el 6% de la demanda máxima; y la capacidad global en la operación era suficiente para producir por lo menos 160 TWh de electricidad al año (REN21, 2014).

Se estima que 43 GW de células de silicio cristalino y 47 GW de módulos se produjeron en 2013, 20% más que en 2012, y la capacidad de producción de módulos alcanzaron un valor estimado de 67,6 GW. La producción de películas delgadas subió casi un 21% en 2013 (a 4,9 GW), y su

participación en la producción total mundial de energía fotovoltaica se mantuvo constante año a año.

Durante la última década, la producción de módulos se ha desplazado desde los Estados Unidos, a Japón, Europa, y de vuelta a Asia, con China, dominando los envíos desde 2009. En 2013, Asia representó el 87% de la producción mundial (frente al 85% en 2012), con China produciendo el 67% del total mundial (casi dos tercios en 2012). La participación de Europa siguió disminuyendo, hasta el 9% en 2013 (11% en 2012), y la participación de Japón se mantuvo en 5%. La participación de Estados Unidos fue de 2,6%; las películas delgadas representó el 39% de la producción estadounidense, frente al 36% en 2012. En India, la mayor parte de la capacidad de fabricación estaba ociosa o funcionando a bajas tasas de utilización, sobre todo porque era poco competitiva debido a la falta de escala, financiamiento de bajo costo, y subdesarrollado las cadenas de suministro (REN21, 2014).

Yingli y Trina Solar (ambos de China) fueron los principales fabricantes de módulos en 2013, seguidos por Canadian Solar (Canadá), Jinko Solar, y ReneSola (ambos en China). Sharp Solar (Japón), First Solar (Estados Unidos), Hanwha SolarOne (China), Kyocera (Japón), y JA Solar (China) completaron el top 10 (REN21, 2014).

Los inversores solares son cada vez más sofisticados para apoyar activamente la gestión de redes, y son considerados como una de las tecnologías de más rápido desarrollo en la electrónica de potencia. En parte debido a este rápido desarrollo, en 2013 ABB (Suiza) adquirió Power-One (Estados Unidos), uno de los mayores fabricantes del mundo de inversores de energía solar. Al mismo tiempo, la industria se ha vuelto cada vez más saturada y los mercados más fragmentados, y los titulares de proyectos más grandes enfrentan retos para mantener el crecimiento o incluso sobrevivir en 2013 (REN21, 2014).

A partir de 2013, el costo por MWh de energía solar en techos estaba por debajo de los precios minoristas de la electricidad en varios países, entre ellos Australia, Brasil, Dinamarca, Alemania, e Italia. Según una estimación, la energía solar fotovoltaica se considera competitiva sin subsidios en al menos 19 mercados (en 15 países). Además, varios proyectos que estaban previstos o en desarrollo a fines de año se consideraron competitivos respecto de opciones fósiles, sin subsidios (REN21, 2014).

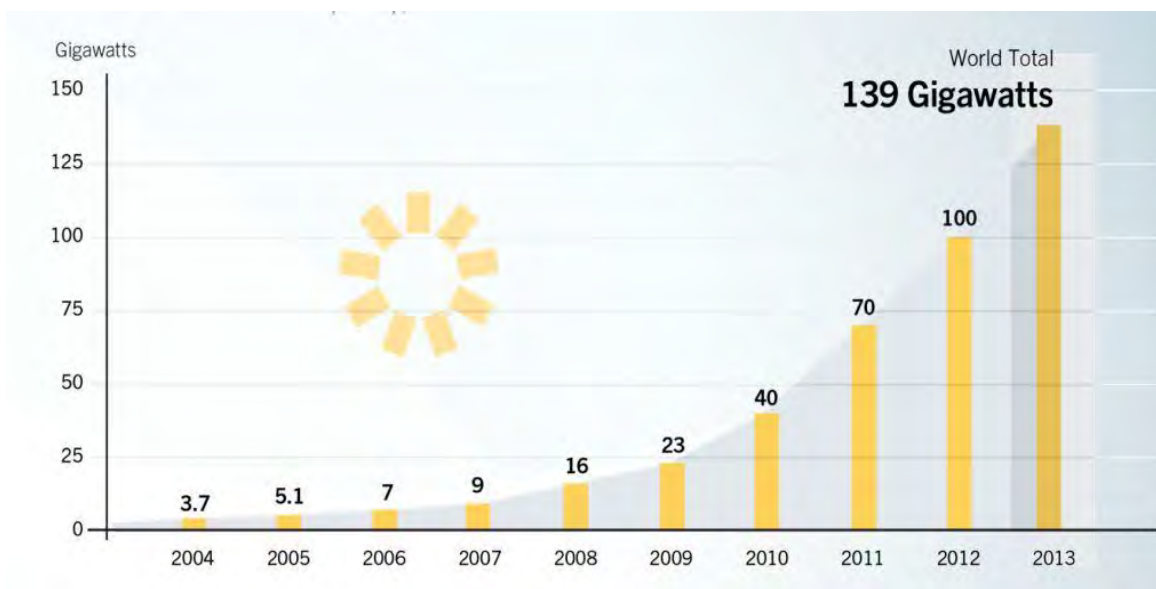


Figura 7: Capacidad Mundial de Generación FV. Fuente: REN21 Global Status Report 2014

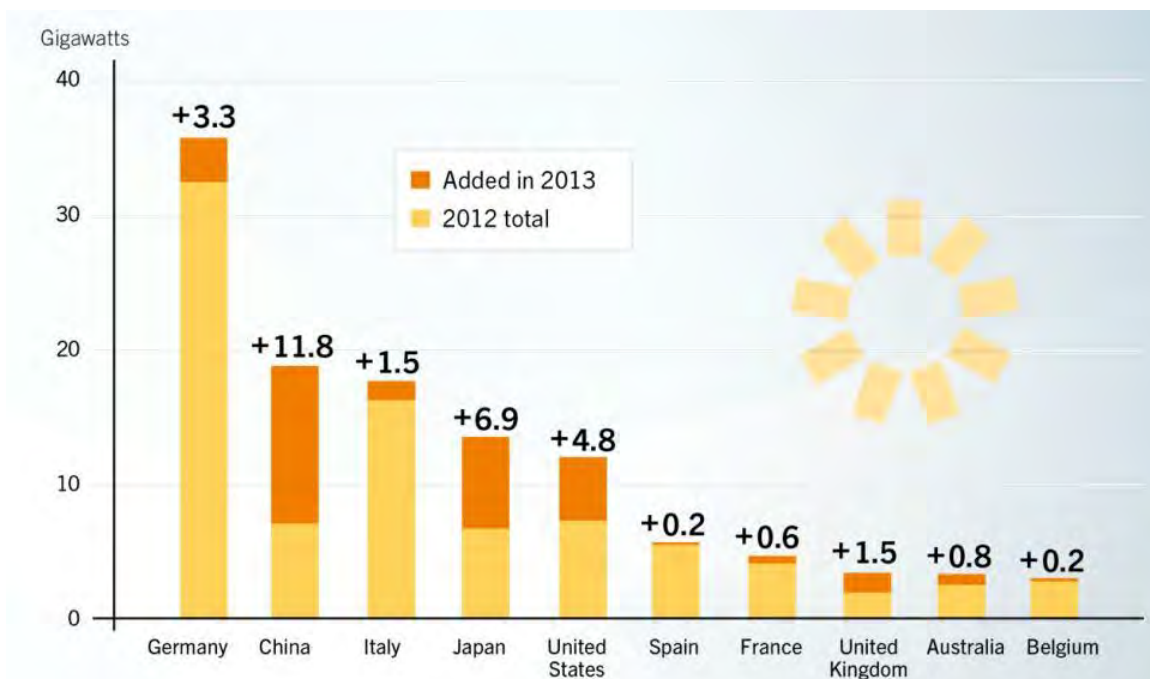


Figura 8: Capacidad por País . Fuente: REN21 Global Status Report 2014

De la información precedente, se desprende que la energía fotovoltaica enfrenta un fuerte crecimiento y desarrollo. Además, por las condiciones muy ventajosas locales, se espera que tenga un gran desarrollo en Chile.

2.4.3 Sistemas termosolares

La capacidad mundial a fines del 2013 de sistemas termosolares era de 3.425 MW. En la figura siguiente vemos su crecimiento y evolución.

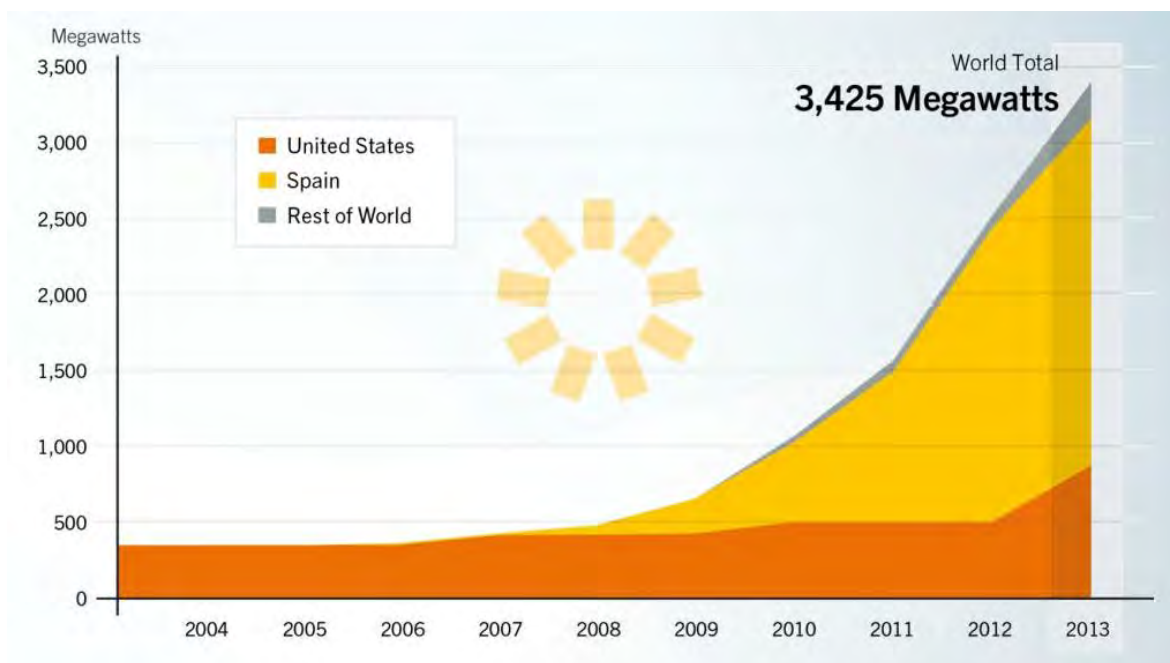


Figura 9: Capacidad Mundial Termosolar por región. Fuente: REN21 Global Status Report 2014

Vale la pena destacar que hasta antes del 2007, casi el total de la capacidad mundial se ubicaba en Estados Unidos. Por políticas de incentivo en España, además del desarrollo que emprendieron a través del CIEMAT y otras organizaciones desde los años 80, la producción en España ha tenido un crecimiento espectacular.

Esta tendencia no es sorprendente. En efecto, de todos los países europeos, España es el único que tiene condiciones razonables para desarrollar sistemas termosolares en gran escala. De los demás, sólo Francia e Italia tienen buenas condiciones en lugares específicos.

Pero la apuesta Española ha tenido éxito. Actualmente están realizando proyectos en Marruecos, Estados Unidos, Sudáfrica y Chile.

Estados Unidos se convirtió en el líder del mercado en el 2013, agregando 375 MW al finalizar el año con casi 0,9 GW en operación, y poco menos de 1 GW en construcción. La nueva planta de Solana (250 MW) en Arizona es la mayor planta de colectores cilindro-parabólicos del mundo y la primera planta CSP estadounidense con almacenamiento de energía térmica. La capacidad de

los Estados Unidos dio otro salto importante a principios de 2014, cuando la planta Ivanpah, de 377 MW, comenzó la alimentación de electricidad a la red. Una vez terminada, la planta Ivanpah, basada en tecnología de torre/receptor central, era la mayor instalación solar termoeléctrica de cualquier tipo que operaba en el mundo.

En otros mercados, la capacidad casi se triplicó durante 2013, a poco menos de 250 MW. Ello incluye las adiciones de la planta Shams 1 de 100 MW en los Emiratos Árabes Unidos y una planta de 50 MW en Rajasthan, India (ambas plantas de colectores cilindro parabólicos), y la primera fase (10 MW) de una planta de torre/receptor central de 50 MW en Delingha, China. Otros países con CSP existente que no añadieron capacidad en 2013 son Argelia (25 MW), Egipto (20 MW), Marruecos (20 MW), Australia (13 MW), y Tailandia (5 MW). Varios países más tenían pequeñas plantas piloto en funcionamiento, entre ellos Francia, Alemania, Israel, Italia, Sudáfrica, Corea del Sur y Turquía.

Las principales empresas en 2013 incluyeron Abengoa, Acciona, ACS Cobra, y Torresol Energy (todas de España); Brightsource y Solar Reserve (ambas de Estados Unidos); Schott Solar (Alemania); y AREVA (Francia). La firma alemana Siemens anunció el cierre de su negocio CSP después de las pérdidas de mil millones de USD o más desde 2011, mientras que Schott Solar cerró su planta estadounidense de 400 MW para centrarse en proyectos en Oriente Medio.

Los costos CSP también han seguido bajando mediante la mejora del diseño y la mejora de las técnicas de fabricación y construcción. SHEC Energía (Canadá) logró reducciones significativas en el costo de los materiales a través de la adopción de nuevas tecnologías de producción; la aplicación de materiales ligeros, de alta resistencia y una técnica de refuerzo estructural de propiedad; y procesos de fabricación automatizados para crear estructuras ligeras y fuertes.

Además de España, hay trabajo de investigación y desarrollo considerable en Francia, Alemania, Estados Unidos, Australia, Israel y varios otros países.

Los esfuerzos de investigación y desarrollo están bastante coordinados pues el sector tiene claro que hay un importante camino por avanzar.

2.4.4 Áreas de investigación y desarrollo

Si bien se ha producido un desarrollo notable desde el año 2000, aún existen importantes áreas de investigación y desarrollo en el ámbito de la energía solar. A continuación se resume lo más importante:

- **Sistemas Fotovoltaicos.** Existen múltiples áreas de investigación y desarrollo. Desde nuevos materiales y procesos de fabricación hasta sistemas avanzados de alta concentración (con muy elevados rendimientos). También existe una importante área

de investigación y desarrollo en componentes tales como controladores, inversores y sistemas de acumulación de energía. Esta es un área sumamente dinámica y activa.

- **Sistemas Termosolares.** Es también un área con enorme potencial de mejora y crecimiento. Tanto en aspectos tecnológicos básicos (por ejemplo ciclos termodinámicos), como también mejoras técnicas que puedan reducir costos y mejorar confiabilidad. Los sistemas Termosolares están en un nivel de desarrollo similar a lo que estaban las centrales eólicas en el año 2000. Las mejoras posibles son aún enormes.

Si se piensa en el norte de Chile, con la gran cantidad de actividad minera, es evidente que se deben aprovechar las oportunidades para ir integrando la energía solar a diversos procesos. Solo a modo de ejemplo:

- Generación de calor para electrobtción: es algo que ya se está iniciando, pero aún falta mucho para optimizar y seguir bajando costos.
- Generación de calor para aportar a pilas de lixiviación. Se sabe que si se calientan las soluciones de refino, se puede acelerar la producción de cobre y mejorar la recuperación de los minerales. Aún existe un enorme espacio de investigación en este ámbito.
- Aporte de calor en minería no metálica. Toda el área de producción de salitre, yodo y litio tiene potencial de aplicación.
- Utilizar cogeneración solar. Básicamente significa usar generación Termosolar.
- Incorporación en gran escala de sistemas FV. Problemas asociados a estabilidad de red y mejoras de sistema.

Y fuera de estos puntos existen grandes espacios de investigación y desarrollo. Estos comprenden temas tales como:

- **Información básica:** desde información confiable de radiación solar (y viento con sus ráfagas), hasta problemas de manejo de polvo y efectos ambientales del desierto de Atacama en partes, componentes y sistemas solares.
- **Ensayos estandarizados:** las excelentes condiciones aseguran el poder disponer de una plataforma de ensayo con al menos 30% más de horas utilizables al año que en los mejores lugares del mundo.
- **Investigación básica:** en materiales, sistemas de acumulación, nuevos procesos y otros.
- **Investigación aplicada:** en procesos mineros metálicos y no metálicos. En modelos de gestión y operación.
- **Formación y capacitación:** una de las grandes debilidades actuales es la escasez de capital humano calificado.

2.4.5 Consideraciones sobre los costos y proyecciones futuras para la industria solar

Los costos históricos de la tecnología solar, representada principalmente por la fotovoltaica, se han reducido considerablemente en los últimos años y se espera que el desarrollo de la tecnología permita lograr costos aún más bajos en el futuro.

Como se aprecia en la figura siguiente, en la medida que la capacidad acumulada instalada ha aumentado y la presencia de China se hace más relevante, los costos de la tecnología han bajado de los 8 USD/W en los 90 a menos de 1 USD/W en la actualidad.

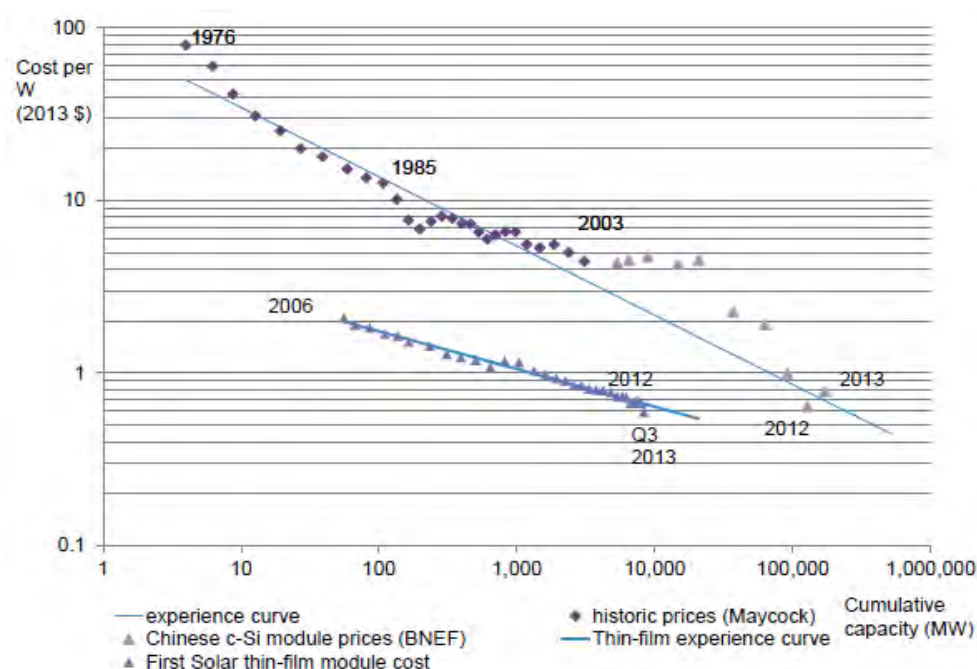


Figura 10: Curva de experiencia Fotovoltaica 1976-2013 (2013 \$/W). Fuente: Paul Maycock, First Solar, Bloomberg New Energy Finance

Gran parte de este desarrollo se debe a los numerosos mecanismos de apoyo y fomento que ha tenido la tecnología en los países que la han privilegiado. En particular, el desarrollo de la energía fotovoltaica en los últimos diez años ha sido impulsado por el desarrollo de políticas de apoyo, con el objetivo de reducir la brecha entre el costo de la electricidad FV y el precio de las fuentes de electricidad convencionales. Estos sistemas de apoyo tomaron diversas formas dependiendo de las especificidades locales y evolucionaron para hacer frente a la evolución inesperada de los mercados o cambios de la política.

Como se aprecia en las figuras siguientes, se espera una importante reducción de los costos nivelados de la electricidad de todas las energías renovables, siendo la solar la que presenta el

panorama más auspicioso frente al resto de las tecnologías. En el caso de Alemania se esperan reducciones desde los 80-140 Euros/MWh a los 50-90 Euros/MWh al 2030.

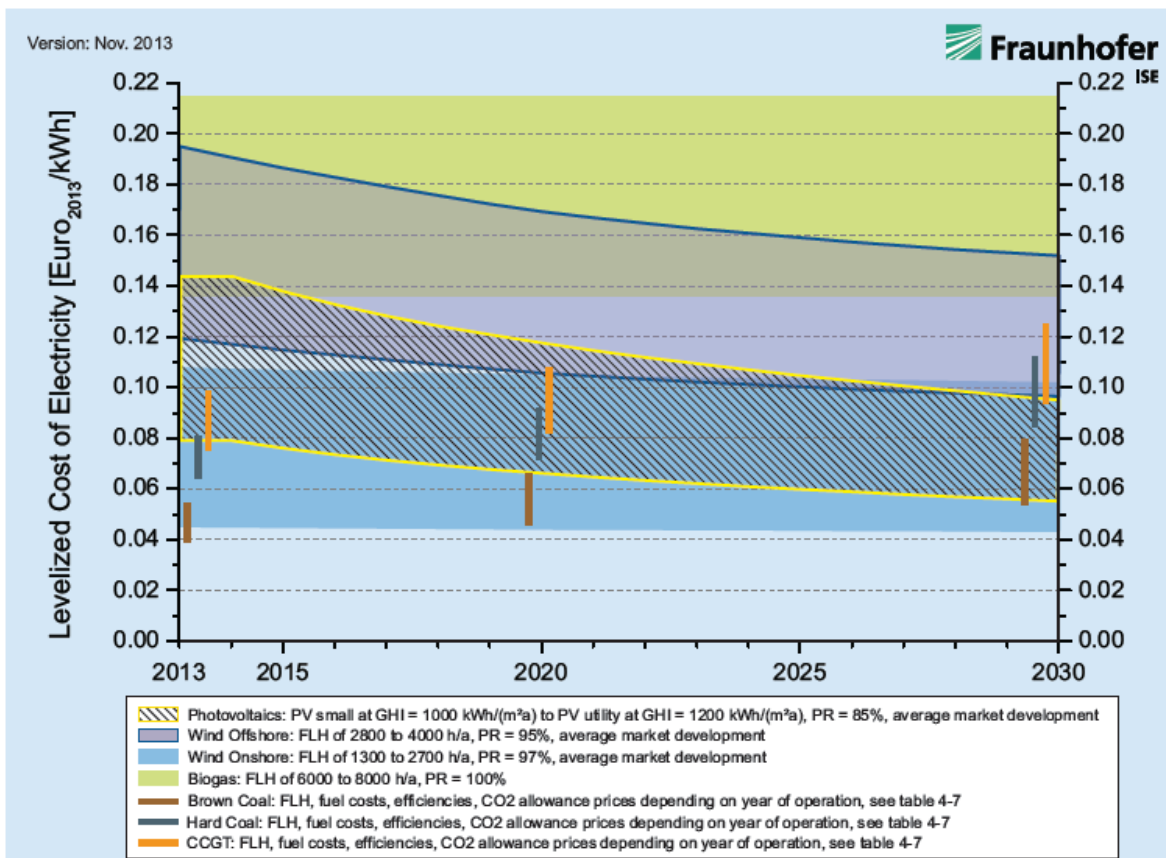


Figura 11: Proyecciones basadas en la curva de aprendizaje del LCOE de tecnologías de energías renovables y centrales eléctricas convencionales en Alemania en 2030. Fuente: Fraunhofer, 2013

Este desarrollo es aún más notorio en aquellas zonas con alta radiación solar, de acuerdo al estudio de Fraunhofer (2013). En el siguiente gráfico se aprecia que la tecnología CSP reduce su LCOE en casi un 40% al año 2030 y la FV en un 25%.

En el caso de los costos para proyectos FV montados en el suelo se espera que estos caigan desde los 1,6 USD/W a 1,16 USD/W en el 2020. En este caso, el modulo y el EPC son las componentes de costos más importantes.

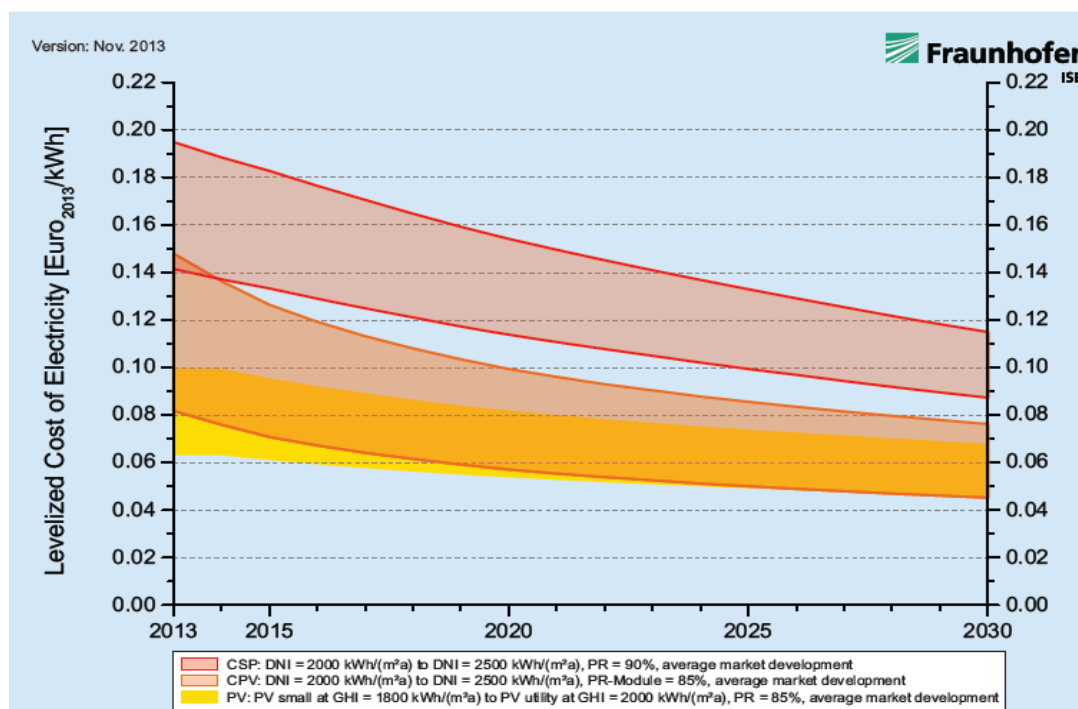
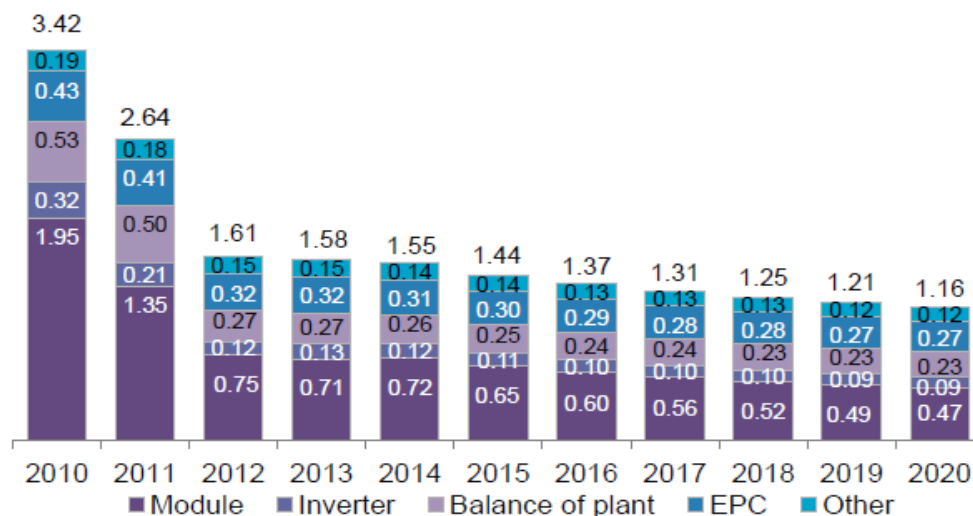


Figura 12: Proyecciones basadas en la curva de aprendizaje del LCOE de varias tecnologías solares en localidades con alta radiación solar en 2030. Fuente: Fraunhofer, 2013



Nota: Basado en las curvas de experiencia para cada componente con estimaciones para años históricos de documentos de los desarrolladores

Figura 13: Proyección de costos para proyectos FV montados en el suelo 2010-2020 (2013 \$/W). Fuente: Bloomberg New Energy Finance, 2014

2.4.6 Energía solar en Chile.

En la figura siguiente se presenta la evolución de la capacidad instalada fotovoltaica en Chile desde enero del 2012 a la fecha en sus distintas etapas de desarrollo.

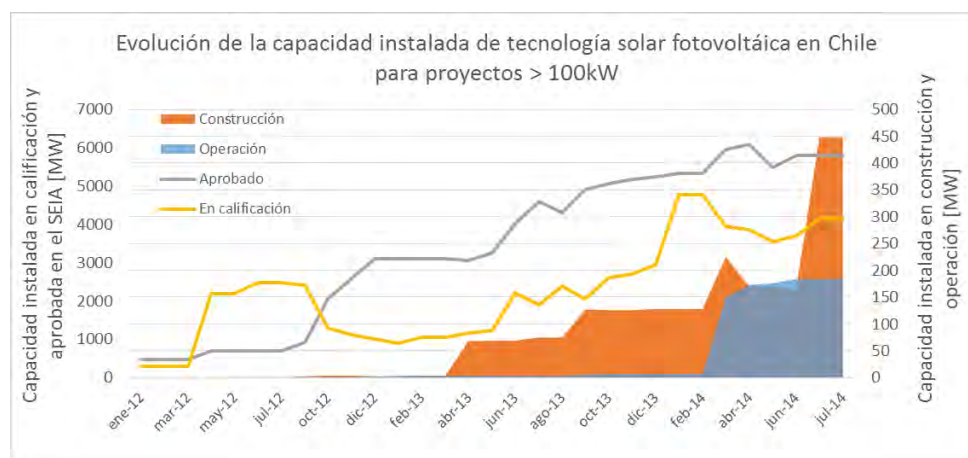


Figura 14: Evolución de la capacidad instalada solar fotovoltaica en los últimos 3 años. Fuente: Elaboración propia en base a los reportes de ERNC del CER, CORFO

La evolución de la tecnología de concentración solar de potencia (CSP) no ha alcanzado el nivel operacional en el país, pero si ha comenzado la evaluación ambiental de varios proyectos y la construcción de la primera central de torre central por parte de la empresa española Abengoa.

De acuerdo al Centro de Energías Renovables de CORFO, existen 760 MW de capacidad instalada total con resolución ambiental aprobada, además de los 110 MW asociados a la central de Abengoa.

Hasta Julio del presente año, se completaron 1.716 MW de capacidad instalada en operación de energías renovables, del cual se encuentran 11 proyectos en funcionamiento fotovoltaicos de 189 MW correspondiente al 12% de la composición de renovables. En estado de construcción se encuentran 487 MW de tecnología FV. Por otro lado, los proyectos con Resolución de Calificación Ambiental (RCA) aprobados ascienden a 870 MW de CSP (incluye 110 MW del proyecto Cerro Dominador de Abengoa, que esperaba su inicio de construcción a mediados de 2014 y se estima en operación al año 2017) y a 6.150 MW en FV. Por último, se encuentran los proyectos en etapa de calificación hasta la fecha que ascienden a 4.247 MW de tecnología FV. A continuación se observan las diferentes magnitudes en cada etapa con respecto a las demás fuentes de energías renovables (CER, 2014).

Cuadro 2: Proyectos de energía renovable en el sistema de evaluación ambiental

Fuente	En operación (MW)	En construcción (MW)	RCA aprobada (MW)	En calificación (MW)
Biomasa	461	22	94	94
Biogás	43	0	1	8
Eólica	682	154	4.542	2.481
Mini hidro	342	34	290	185
Solar-FV	189	487	6.150	4.247
Solar-CSP	0	0	870	0
Geotermia	0	0	120	0
Total	1.717	697	12.067	7.015

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Centro de Energías Renovables, Agosto 2014

En términos generales, las tecnologías dominantes en el ámbito fotovoltaico a nivel nacional son aquellas que utilizan celdas de silicio cristalino. Toda la producción de esta tecnología ocurre fuera del territorio nacional. En cuanto a la tecnología CSP, las tecnologías presentes en los proyectos en construcción y en carpeta son principalmente de torre central y de concentrador parabólico. Existe potencial para que parte de estas tecnologías sean desarrolladas localmente (sales fundidas y espejos).

En relación a la tecnología solar térmica para la producción de calor, se ha observado un nivel importante de instalaciones a nivel residencial para el calentamiento de agua sanitaria. En buena medida el nivel de penetración de estos módulos resultó de un subsidio directo a la tecnología en viviendas nuevas. A nivel industrial se observa actividad con plantas productoras de calor en la minería, principalmente.

Toda esta actividad en torno a la tecnología solar térmica para la producción de calor condujo a que se generara una industria importadora y desarrolladora de tecnología, con múltiples empresas nacionales realizando sus propios desarrollos, principalmente enfocados en soluciones residenciales.

2.5 BENCHMARKING E IDENTIFICACIÓN DE BUENAS PRÁCTICAS DE CLUSTER SOLARES EXITOSOS

En esta sección se analiza la experiencia de Finlandia, Brasil y el estado de Nuevo México de los Estados Unidos en la conformación y desarrollo de cluster solares. Estos países fueron seleccionados de acuerdo a criterios compartidos entre el equipo consultor y la contraparte técnica del estudio. Finlandia, ofrece la oportunidad de aprender de una experiencia incipiente de desarrollo de un cluster que se visualiza principalmente como exportador de tecnología. Brasil, aun cuando no cuenta con una política de cluster en específico, sino más bien una política de fomento a las renovables, ofrece condiciones más similares a nuestro país por ser un país en

desarrollo, lo que resultaba interesante de observar, mientras que el estado de Nuevo México de los Estados Unidos ofrece la oportunidad de mirar una experiencia que orientan el desarrollo de la industria hacia mercados a nivel local y nacional especializado en el montaje, desarrollo de proyectos y prestación de servicios anexos.

A continuación se presentan indicadores económicos y de la industria relevantes para contextualizar los tres casos analizados y el caso chileno.

Cuadro 3: Indicadores clave 2012 para los países comparados en este estudio

	Chile	Finlandia	Brasil	Estados Unidos
Población [Millones]	17,4	5,41	196,94	314,28
GDP [Billones USD 2005]	165,22	207,81	1126,72	14231,58
GDP PPP [Billones USD 2005]	276,67	170,99	2510,46	14231,58
Producción de energía [Mtoe]	13,05	17,24	249,2	1806,48
Importes netos [Mtoe]	24,96	15,54	28,61	374,88
Energía primaria (TPES) [Mtoe]	37,21	33,3	270,03	2140,62
Consumo de electricidad [TWh]	66,25	84,93	480,12	4069,06
TPES/población [toe/cápita]	2,14	6,15	1,37	6,81
TPES/GDP [toe/miles USD 2005]	0,23	0,16	0,24	0,15
TPES/GDP PPP [toe/miles USD 2005]	0,13	0,19	0,11	0,15
Consumo de electricidad /población [MWh/cápita]	3,81	15,69	2,44	12,95

Fuente: Fuente: International Energy Agency

Resulta interesante tener una imagen general respecto a la insolación anual presente en los diferentes territorios que acá se comparan. Esto se aprecia en la siguiente figura. Los países incluidos en este estudio se destacan en contorno rojo (caso de Nuevo México se identifica como Estado).

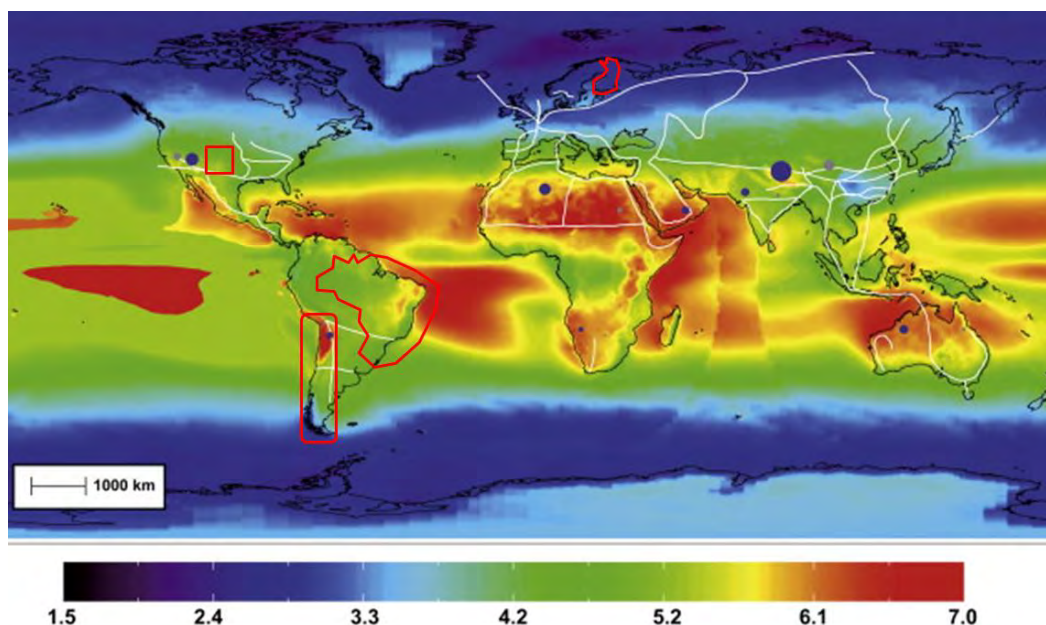


Figura 15: Promedio anual de insolación incidente sobre plano horizontal en [kWh/m²/día].
Fuente: A. García-Olivarres, J. Ballabrera-Poy, E. García-Ladona, A. Turiel, A global renewable mix with proven technologies and common materials, Energy Policy 41 (2012), 561-574.

2.5.1 Principales características del cluster solar en Finlandia

El cluster solar en Finlandia se ha especializado en la generación de soluciones tecnológicas para la industria asociado a un fuerte componente de investigación y desarrollo. En particular la industria solar en Finlandia se caracteriza por contar con empresas que hoy participan de la cadena de valor a nivel global y que exportan tecnología, diseñan y realizan componentes de módulos y colectores entre otros. Al mismo tiempo, su industria se ha especializado en la generación de soluciones para el sector CPR de la mano de objetivos nacionales para la promoción de ciudades neutras en carbono. Consistentemente con esta especialización, los principales actores del cluster son universidades, centros de investigación y empresas constructoras¹⁴.

El nacimiento y desarrollo del cluster de energía solar en Finlandia debe entenderse necesariamente de la mano de los compromisos asumidos en el marco de la Unión Europea

¹⁴ En anexos se puede encontrar una descripción de las principales actividades de investigación de los más importantes centros e institutos de investigación relacionados con la energía solar.

como parte de su política de cambio climático, de sus políticas de industrialización de sus definiciones estratégicas para el desarrollo de la ciencia y la tecnología¹⁵.

Para el caso de Finlandia es posible identificar diferentes iniciativas de cluster en diferentes regiones del país. Todas ellas con una mirada territorial de cooperación entre diferentes empresas e instituciones dentro de la industria de las energías limpias. Para todos los casos, el cluster se basa en la cooperación Universidad, centros de investigación, sector productivo y en apalancamiento de proyectos de innovación bajo un modelo start up.

A pesar de no disponer de información específica respecto al financiamiento del cluster solar de Finlandia, se sabe a partir de experiencias anteriores en cluster que estos programas son instrumentos financieros públicos, donde cada programa se organiza dentro de Ministerios con asignación especial. Además de los Ministerios existe financiamiento desde las instituciones TEKES¹⁶ y la Academia de Finlandia. Alrededor del 5% del financiamiento es internacional proveniente de diferentes fuentes de la Unión Europea. Al mismo tiempo, la Agencia Finlandesa para financiamiento de la innovación financia el programa RESCA, que indirectamente financia algunos proyectos de energía solar, sobre todo los que están dentro de iniciativas energéticas más amplias las cuales abarcan también otras fuentes energéticas.

Las políticas públicas de promoción de la energía solar en Finlandia se concentran en tres grandes ejes:

1. Fomento a la integración de renovables y eficiencia energética en el sector CPR:

- a. Integración de ERNC en edificaciones públicas y privadas.
- b. Diseño y fomento de distritos carbono neutral: “Ciudad solar” en Nurmi-Sorila, Área Östersundom, Área Eko-Viikki, Área Finnoo-Kaitaa, Área Skaftskärr.
- c. Proyectos de eficiencia energética.

1. Programas de investigación y desarrollo:

- a. Desarrollar de sistemas térmicos y fotovoltaicos apropiados para el clima nórdico,
- b. Desarrollar nuevas aplicaciones y ventajas competitivas a través de tecnología de materiales para la industria finlandesa. Las principales áreas de investigación son:

¹⁵ El 2008, la Unión Europea definió como objetivo reducir su nivel de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en un 20% al 2020 a partir de incrementar sus niveles de eficiencia energética en un 20% y alcanzar un 20% de participación de las energías renovables en su matriz energética.

Por su parte, en el Plan estratégico de tecnología energética (SET-Plan), a partir de la cual se elaboran las iniciativas industriales en la región, se estableció como objetivo que el 15% de la generación eléctrica fuese a partir de energía solar al 2020¹⁵ (TEKES, 2012).

¹⁶ TEKES: Agencia Finlandesa para financiamiento de la innovación

comprensión de materiales y sus características, mezclas funcionales y control, producción, aplicación y desecho de materiales.

2. Fomento a la industria

- Mejoramiento de capacidades de negocio de pequeñas y medianas empresas relacionadas con energías renovables. Desarrollando redes con el mundo financiero.
- Programa que intenta generar actividades de negocio ERNC en el diseño, construcción y manutención sostenible, además de áreas y construcciones con eficiencia energética.

2.5.2 Cluster solar de Nuevo México, Estados Unidos

2.5.2.1 Principales características

El cluster solar en Nuevo México se estructura gracias a una concentración de la industria relacionada en la zona, en conjunto con la más alta tasa per cápita en investigación y desarrollo dentro de Estados Unidos respecto a la tecnología solar y la presencia de una fuerza de trabajo capacitada para instalación, operación y mantención de sistemas solares. Sin embargo, no existe una organización de cluster centralizada. Estas empresas no están formalmente asociadas ni se reconocen como parte de un cluster, pero si declaran colaborar entre ellas a través de la mediación de instituciones estatales tales como La Cámara Verde de Comercio y la Asociación Industrial de Energía Renovable.

El sistema de valor de la industria solar en el estado de Nuevo México se divide en tres sectores:

- Sector 1: Industria base, aquellas dedicadas a la manufactura y producción de sistemas solares. En este sector se destacan las compañías Fraunhofer CFV Solar Test Laboratory, Emcore Corporation, Unirac, Array Technologies, Sandia National Laboratories y la Universidad de Nuevo México.
- Sector 2: Servicios de soporte, aquellos que proveen materiales, componentes y equipo específico para las industrias del sector 1. También se incluyen en este sector las actividades de ingeniería y consultoría técnica, distribución y publicidad de productos, asistencia legal y financiera y formación de capital humano.
- Sector 3: contempla las empresas que se encargan de la instalación, integración y manutención de sistemas solares. Este es el sector más fuerte y con mayor tasa de crecimiento dentro del cluster.

Las empresas que participan de la industria solar en Nuevo México se especializan principalmente en: ensamblaje y adaptación de módulos fotovoltaicos y sistemas eléctricos solares, comercialización de productos y testeo de sistemas y productos que incluyen en el diseño, focalización en consumidores específicos y adaptación a nuevas y antiguas estructuras,

junto con la investigación asociado a la localización del Laboratorio Nacional (Sandia National Laboratories)¹⁷

Los mercados hacia los que se orienta la actividad de estas empresas, es el mercado local del estado de Nuevo México y otros estados en el país que hoy cuentan con sistemas de incentivos para la penetración de energías renovables en general y energía solar en particular (Mid region council of governments, 2013)

Existen tres grandes instituciones dedicadas a investigación y desarrollo en el estado de Nuevo México, éstas son la Universidad de Nuevo México, Sandia National Laboratories y el Fraunhofer CFV Solar Test Laboratory. Las dos primeras mantienen programas enfocados a la innovación en tecnología solar y sistemas solares, la tercera institución juega un rol crítico en el ensayo de paneles solares provenientes de diversas compañías a nivel global.

Por otro lado, la Universidad de Nuevo México, Central New Mexico Community College, New Mexico Workforce Connection y State Energy Sector Partnership se encargan de entregar entrenamiento especializado de acuerdo a las demandas de la industria solar.

Dado que no existe una estructura definida y centralizada de cluster no existe financiamiento directo de las empresas beneficiadas hacia el cluster. Las iniciativas las toma el gobierno regional en base a la motivación de la ciudadanía local. Las acciones de cluster son financiadas con fondos públicos.

2.5.2.2 Proyectos y programas de integración solar

La política de promoción de la industria solar en Nuevo México opera a través del establecimiento de metas de consumo, desarrollo de sistemas de certificación y mecanismos de mercado que incluyen sistema de net metering, certificados de energías renovables y franquicias tributarias (**disminución de impuesto a las ventas de equipamientos, sistemas y servicios en la industria solar, exención del impuesto a la propiedad para los residentes que posean instalaciones solares eléctricas o térmicas**) y **créditos tributarios (crédito tributario personal y corporativo** para quienes deseen instalar un sistema FV o termosolar, **Crédito tributario para el desarrollo de proyectos** cuya capacidad sea mínimo de 1 MW, **Crédito tributario para empresas de la industria solar.**

¹⁷ Estados Unidos cuenta con una política de Investigación y desarrollo que incluye el financiamiento público de laboratorios de investigación a nivel nacional especializados en temas que se consideran estratégicos para el país.

2.5.3 Industria solar de Brasil

2.5.3.1 Principales características

Brasil no cuenta con un cluster solar institucionalizado, sino más bien, el desarrollo incipiente de una industria de la mano de políticas de promoción por parte del estado central y federal del país. Brasil ha llevado a cabo múltiples estudios en los últimos 4 años en relación con la evaluación de las posibilidades de desarrollo de tecnología solar en el territorio nacional; identificación de barreras, análisis de cadena de valor, medidas para la superación de barreras, identificación de mercado potencial, etc.

El motivo principal para empujar el desarrollo de la energía solar en el país es la búsqueda por diversificar su matriz fuertemente hidroeléctrica (que deja sujeto al país a periodos de escases frente a hidrologías secas) además de aprovechar el buen recurso solar presente en el territorio nacional y la complementariedad con industrias existentes.

El estado del arte de la industria solar en Brasil, se encuentra en una etapa de diagnóstico de las principales brechas.

2.5.3.2 Programas para promover la energía solar

Algunas de las medidas y programas concretos encontrados durante el análisis de la situación de la energía solar en Brasil se describen a continuación.

- 1 **Enabling FV:** proyecto que busca contribuir al desarrollo sustentable de energía solar FV al explorar el potencial de la resolución ANEEL 482/2012 que establece un esquema de compensación (net metering) para generación distribuida y al buscar estructuras de licitaciones de energía solar FV en el marco del reciente anuncio en torno a estas herramientas.
- 2 **Minha Casa, Minha Vida:** programa federal para la construcción de viviendas que incluye la promoción de energía solar FV como continuación del programa de instalación de paneles solar-térmicos [Lind (2012)].

2.5.4 Lecciones a considerar

Las experiencias de cluster y políticas de desarrollo para la industria solar descritas en esta sección se caracterizan por ser ejemplos de experiencias que se encuentran en una etapa incipiente de desarrollo, donde a partir de la localización de empresas que se desempeñan en la industria en las diferentes regiones analizadas se identifican potenciales cluster de energías limpias y energía solar.

Estas experiencias son relevantes de analizar puesto que dan cuenta de regiones que a pesar de tener ventajas para el desarrollo de la industria, sus condiciones de factores no son necesariamente los óptimos, pero aun así, en función de sus fortalezas, identifican oportunidades de desarrollo.

1. Los cluster se especializan de acuerdo a sus ventajas competitivas:

- a. El cluster de Finlandia se proyecta como un cluster orientado al mercado externo en la prestación de servicios tecnológicos y con un desarrollo del mercado local principalmente asociado a la demanda por integración de energía solar en el sector CPR, lo que se condice con la fortaleza del sistema de ciencia, investigación y desarrollo en el país y la necesidad de responder a metas nacionales y globales en la transición a una economía baja en carbono.
- b. El cluster de Nuevo México se especializa en el desarrollo, implementación, operación y mantenimiento de sistemas orientados principalmente al doméstico de Estados Unidos. Aprovechando las oportunidades que ofrece el acceso a un mercado de gran tamaño como es el Estadounidense, la localización de un centro de investigación nacional en el estado de Nuevo México que tracciona la industria y la oportunidad que genera la conformación de una demanda asociada a los instrumentos de fomento a las ERNC y solar en específico como parte de la política energética del país.
- c. Para el caso de Brasil, la vocación de la industria, que es de carácter nacional y no regional, es principalmente satisfacer el mercado eléctrico local y facilitar la penetración de energía solar junto con otras renovables en la matriz eléctrica. Su foco está puesto en la integración de este tipo de energía en su matriz y no en el desarrollo de una industria en particular.
- d. Ninguno de los dos cluster analizados establece entre sus objetivos desarrollar toda la cadena de valor en una región en particular, sino más bien, identifican una vocación en función de sus condiciones y articulan en base a eso una oferta que demanda la integración con la cadena de valor de la industria a nivel global.

2. Los cluster nacen asociados a políticas de fomento y generación de mercados

- a. Para el caso de Finlandia, las metas asumidas por la Comunidad Europea en cuanto a mitigación de GEI y las metas de su política industrial en cuanto a la energía solar¹⁸, establece un marco fundamental para el potencial desarrollo de la industria,

¹⁸ El 2008, la Unión Europea definió como objetivo reducir su nivel de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en un 20% al 2020 a partir de incrementar sus niveles de eficiencia energética en un 20% y alcanzar un 20% de participación de las energías renovables en su matriz energética.

tanto a partir de la creación de una demanda por energía solar, como a partir de la creación de una serie de instrumentos de fomento que acompañan estos compromisos y que benefician a la industria.

- b. Por su parte, el caso de Nuevo México está fuertemente influido por la existencia de un Laboratorio Nacional en la región. Estos laboratorios son un componente fundamental de la política de ciencia y tecnología de Estados Unidos, que a través de un fuerte financiamiento nacional y estatal potencian la creación de polos de investigación y desarrollo en temas considerados estratégicos para el interés de la nación. Al mismo tiempo, este cluster se ha visto fuertemente beneficiado por las políticas de promoción de renovables asociados a los paquetes de estímulo económico posteriores a la crisis del 2008 en la medida que las regulaciones específicas de algunos estados que propenden a fomentar la integración de renovables en las matrices energéticas ha permitido la conformación de una demanda.
- c. A diferencia de estos dos casos, para Brasil, la evidencia recabada más bien señala las deficiencias y falta de políticas a nivel nacional y regional para facilitar la penetración de energía solar. Sus mecanismos de incentivo no están orientados al desarrollo de una industria en particular, sino más bien a cumplir metas de consumo.

3. Existen variadas formas de institucionalidad y membresía

- a. Para Finlandia, las empresas no están formalmente asociadas, pero los actores identifican una dinámica de cluster como de cooperación entre los actores, en especial en la ciudad de Tempere.
- b. Por su parte, en nuevo México, las empresas e instituciones tampoco están formalmente congregadas en torno a una institucionalidad de cluster, pero si reconocen una dinámica de cluster, entendida como la concentración y cooperación de empresas que participan de una industria y se congregan en un lugar geográfico. Para el caso de Nuevo México las instituciones públicas son críticas para el desarrollo de la industria, y cumplen el rol de mediadores y coordinadores entre las instituciones participantes, sin ser esta su principal actividad. Para el caso de Brasil, no existe ninguna institucionalidad formal de cluster ni una agencia del estado que cumple un rol coordinador, pero si una multiplicidad de instituciones que juegan una rol en la industria solar a través de la implementación de políticas de fomento y definición del marco regulatorio del sistema eléctrico.

Por su parte, en el Plan estratégico de tecnología energética (SET-Plan), a partir de la cual se elaboran las iniciativas industriales en la región, se estableció como objetivo que el 15% de la generación eléctrica fuese a partir de energía solar al 2020¹⁸ (TEKES, 2012).

4. Los cluster cuentan con un amplio repertorio de instrumentos de fomento

- a. En Finlandia el foco está puesto el fomento a la integración de renovables y eficiencia energética en el sector CPR; programas de fomento a la investigación y desarrollo en energía solar y programas de fomento al desarrollo de la industria con actores locales. Lo que es completamente coincidente con la especialización que busca adquirir el cluster.
- b. Por su parte, la política de Nuevo México se centra en el establecimiento de metas de consumo y la generación de mecanismos normativos para conformar un mercado doméstico de energías renovables basado en la conformación de una demanda por ERNC y energía solar en particular.

5. Los cluster existen y se organizan en un territorio particular que conforma una región (administrativa, política, cultural, económica)

- a. Las empresas e instituciones se localizan en un área específica que constituye una región dentro de los países y que de manera dinámica se relacionan con otros segmentos del mercado en el resto del país o en el extranjero según sea el caso, pero la identificación es regional.

2.6 ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA NACIONAL E INTERNACIONAL

Para dimensionar el mercado de la energía solar, es crítico conocer las proyecciones de demanda a nivel nacional e internacional por calor y electricidad. Basado en la estimación de los requerimientos energéticos (térmicos y eléctricos) asociados a la tecnología solar, la factibilidad técnica de implementación de dichas tecnologías evaluada a partir de modelos simplificados y de los resultados de los estudios en los que ha participado últimamente el equipo consultor (modelos energéticos prospectivos del Minenergía, iniciativa MAPS Chile¹⁹), se presenta una estimación de los requerimientos energéticos asociados.

2.6.1 Demanda Nacional

La demanda nacional se estima considerando la demanda de electricidad y requerimientos de calor del Sistema Interconectado del Norte Grande (SING), que es la primera referencia por cercanía territorial, que puede entregar un potencial a ser satisfecho en alguna medida con proyectos solares térmicos y eléctricos. Además, se incluye la proyección de consumo de electricidad del Sistema Interconectado Central (SIC), que sirve como referencia para dimensionar proyectos de generación eléctrica solar, en el caso de una interconexión SING-SIC.

¹⁹ MAPS Chile es un proyecto de 4 años de ejecución que tiene por objetivo estimar la línea base de emisiones para Chile y evaluar medidas de mitigación en siete sectores de la economía nacional. Para consultar mayores antecedentes del proyecto y sus resultados <http://mapschile.cl/>

No es relevante hacer esta ampliación de demanda por calor al resto de Chile, dado que los proyectos no podrían estar en la zona norte, que corresponde al enfoque del estudio, sin perjuicio que los desarrollos que existan en otras regiones puedan servir para desarrollar la industria solar. A continuación se revisarán las demandas potenciales de los sectores industria, minería y comercial, público y residencial (CPR), al año 2050, de acuerdo a las últimas estimaciones del proyecto MAPS Chile (MAPS Chile, 2013).

2.6.1.1 Demanda de calor sector industria y minería y CPR²⁰

En las figuras siguientes se puede apreciar la demanda de los usos calor y motriz de los sectores industrial, minero y CPR. El valor estimado del consumo actual corresponde a 16.884 GWh (13% industrial, 84% minero y 3% CPR). Este valor aumenta en un 83% al año 2030, llegando a 30.945 GWh (10% industrial, 86% minero y 3% CPR) y en un 103% al año 2050, llegando a 34.203 GWh (13% industrial, 82% minero y 5% CPR) (MAPS Chile, 2013), (UNTEC, 2014) (Fundación Chile, 2014).

De acuerdo a estos antecedentes, el sector minero es actualmente y se espera que a futuro también sea, el principal demandante de calor y energía motriz del SING, con más de 26.000 GWh en el año 2030. El consumo en minas rajo y fundición en el cobre y el uso motriz en minas varias son los principales demandantes de esta energía. Hoy, los principales combustibles utilizados en estos sectores son el petróleo diésel y el gas natural.

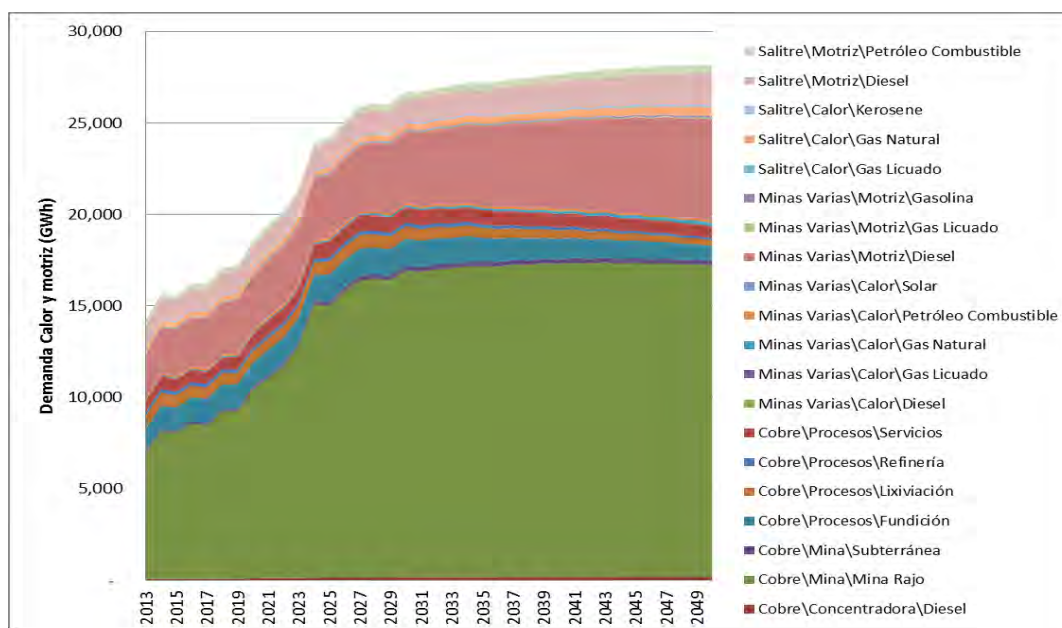


Figura 16: Demanda de calor y motriz sector minería (SING). Fuente: Proyecto MAPS Chile, 2013; UNTEC, 2014.

²⁰ Sector Comercial, Público y Residencial.

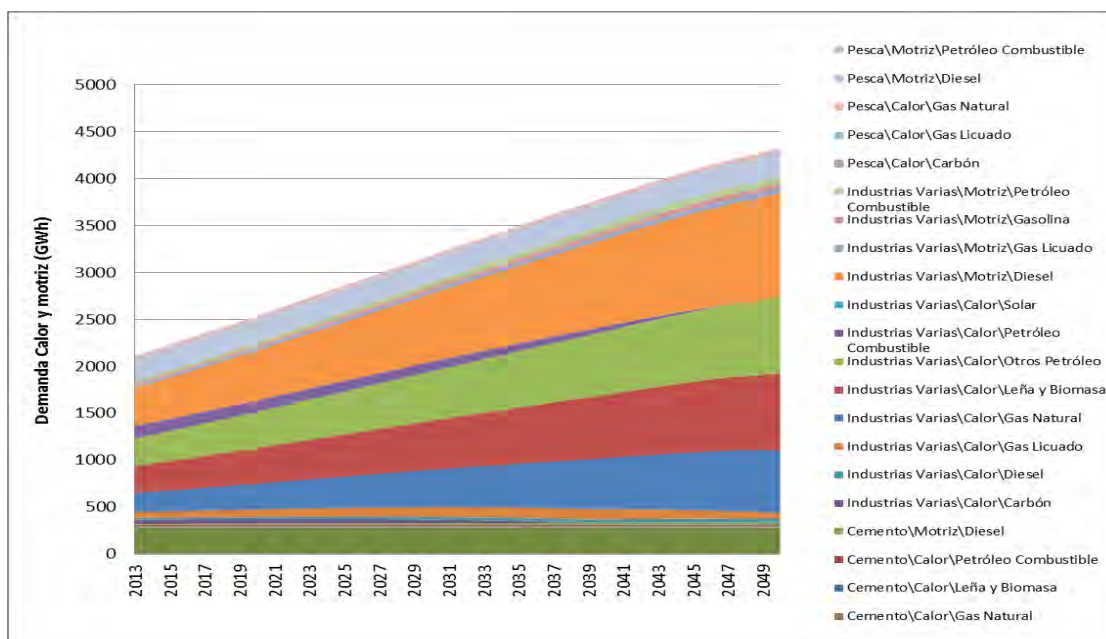


Figura 17: Demanda de calor y motriz sector industria (SING). Fuente: Proyecto MAPS Chile, 2013; UNTEC, 2014.

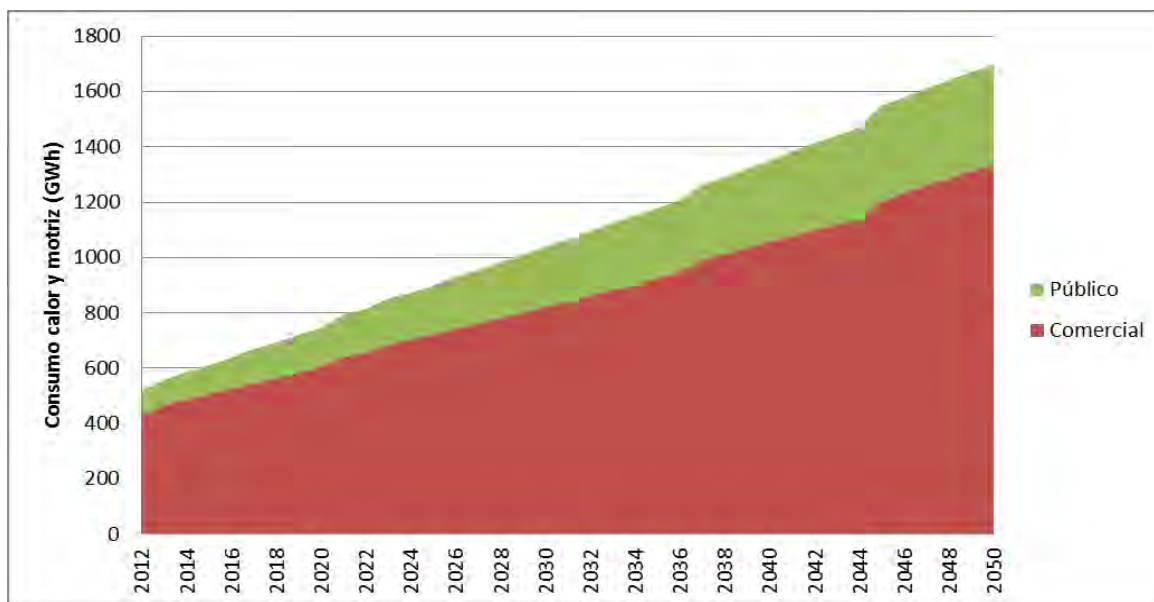


Figura 18: Demanda de calor y motriz sector CPR (SING). Fuente: Proyecto MAPS Chile, 2013; Fundación Chile, 2014.

2.6.1.2 Demanda de electricidad sector industria y minería y CPR

En el caso de la electricidad, el valor estimado del consumo actual corresponde a 16.334 GWh (5% industrial, 87% minero y 8% CPR). Este valor aumenta en un 113% al año 2030, llegando a

34.816 GWh (4% industrial, 87% minero y 9% CPR) y en un 150% al año 2050, llegando a 40.900 GWh (6% industrial, 82% minero y 12% CPR).

Nuevamente, el sector minero es en la actualidad y se espera que a futuro también, el principal demandante de energía eléctrica del SING, con más de 30.000 GWh en el año 2030. El consumo en concentración, lixiviación y desalinización en el cobre y el uso motriz en minas varias son los principales demandantes de esta energía.

En las figuras siguientes se puede apreciar la demanda de electricidad de los sectores industrial, minero y CPR.

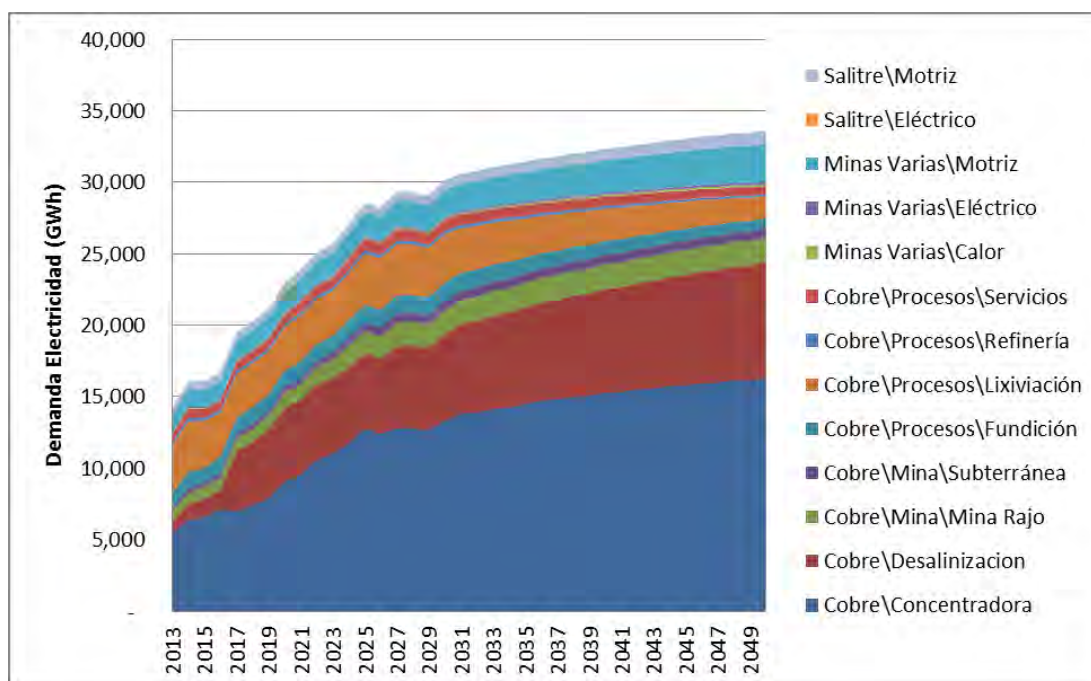


Figura 19: Demanda de electricidad sector minería (SING). Fuente: Proyecto MAPS Chile, 2013; UNTEC, 2014.

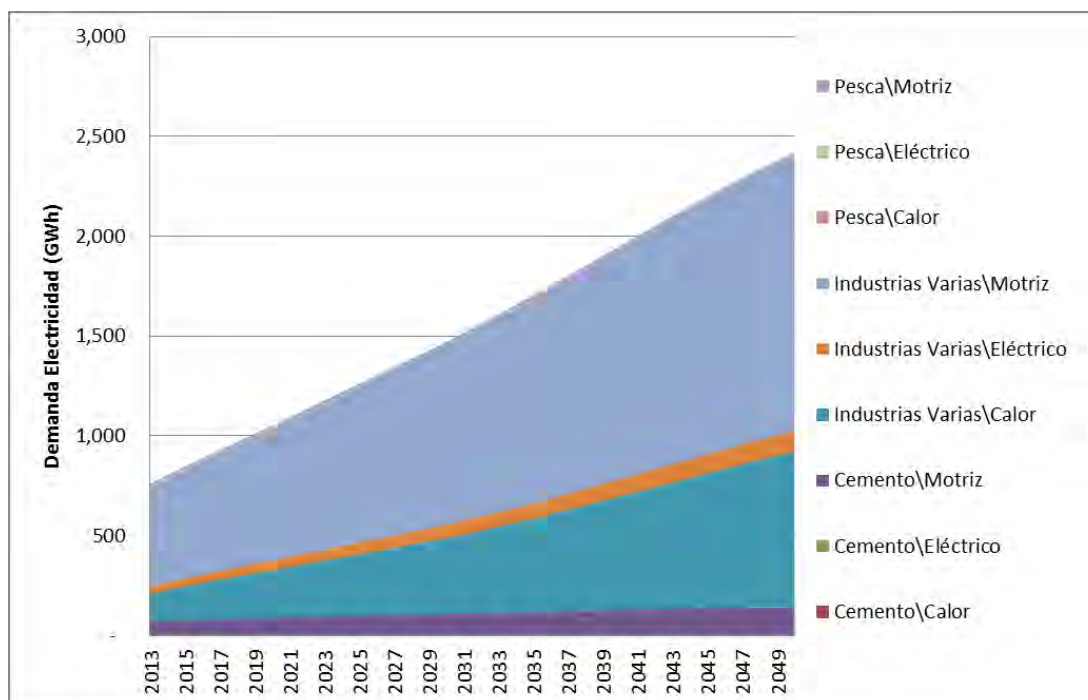


Figura 20: Demanda de electricidad sector industria (SING). Fuente: Proyecto MAPS Chile, 2013; UNTEC, 2014.

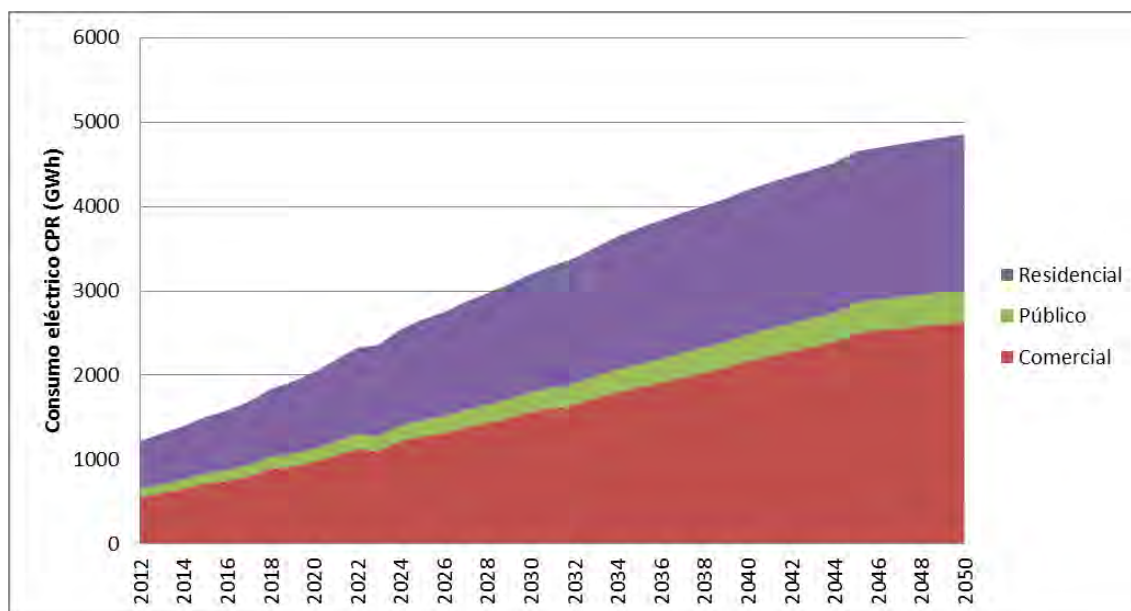


Figura 21: Demanda de electricidad sector CPR (SING). Fuente: Proyecto MAPS Chile, 2013; Fundación Chile, 2014.

Como se aprecia en la figura anterior, el consumo de electricidad comercial y residencial aumenta fuertemente al año 2030, triplicando el consumo actual, que asciende al orden de 500 GWh en cada caso y se proyecta sobre los 1.500 GWh.

En el caso del SIC, se espera una demanda de 35.537 GWh al año 2020 y de 46.269 GWh al 2030 en el sector industrial y minero; y de 27.854 GWh al año 2020 y 44.457 GWh al 2030 en el sector CPR. El consumo del sector industria y minería es del orden de magnitud del SING, pero el de CPR es más de 20 veces al correspondiente en el SING (MAPS Chile, 2013).

2.6.1.3 Desarrollo del sector minero y su relación con la industria solar

Uno de los sectores clave para el desarrollo de la industria solar es la minería, en particular la que se desarrolla en el norte del país. Las principales variables que permiten dimensionar el desarrollo de la industria minera y que tienen relación con la industria solar son la producción (especialmente de cobre) y el consumo de agua.

Producción de cobre

De acuerdo a las estimaciones del proyecto MAPS, en la industria del cobre, el mineral procesado aumenta más que la producción de cobre, lo que da cuenta de la disminución en las leyes del mineral y la tasa de recuperación. “Para obtener la misma cantidad de cobre fino, en el futuro será necesario procesar una mayor cantidad de mineral, y en consecuencia se utilizará más energía”.

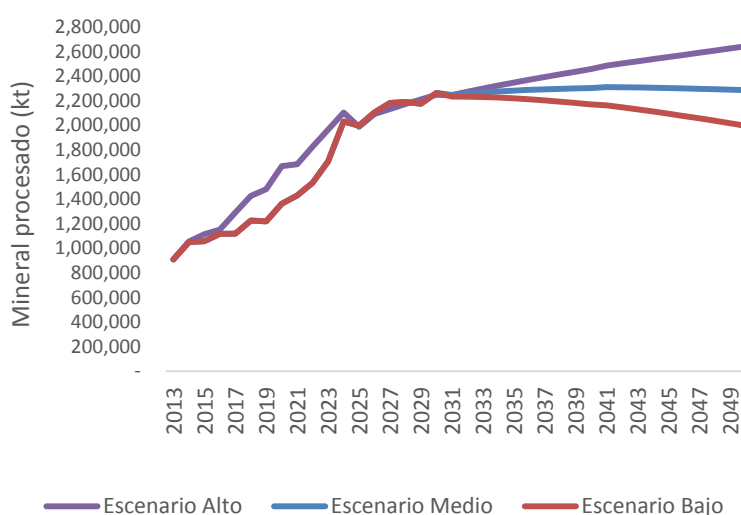


Figura 22: Mineral procesado en la industria del cobre (kt). Fuente: MASP Chile (2013), con información de Cochilco, Brook Hunt y CRU

Como se aprecia en la figura anterior, en todos los escenarios estimados se alcanza un nivel de mineral procesado el 2030 que supera el doble de lo tratado en 2012. En el caso de la capacidad de producción, esta aumenta en un 50% respecto a 2012.

A partir del año 2030 se puede apreciar un declive (o estancamiento) de la producción de la industria, lo que podría significar el horizonte para comenzar a pensar en la reconversión de la industria y de las regiones donde se emplaza, principalmente la zona norte del país.

Consumo de agua

El consumo de agua, que se estima al 2012 como 12,24 m³/seg crece de manera importante al 2030 a 30.33 m³/seg (UNTEC, 2014). En el caso del consumo de agua desalinizada, se consideran la proyecciones realizada por (COCHILCO, 2013), hasta el año 2017. Para estimar la demanda en el periodo 2018-2050, se considera que la totalidad de los proyectos nuevos que se realicen en la I, II, y III región utilizarán agua fresca proveniente de la desalinización, dado que son las regiones más críticas en términos hídricos (COCHILCO, 2013).

La demanda de agua fresca de dichas regiones se estima utilizando la distribución del consumo en Chile al año 2012 (COCHILCO, 2013), dicha distribución se supone que se mantiene proporcional en las distintas regiones para el periodo 2013-2050. Ello se presenta en la figura siguiente.

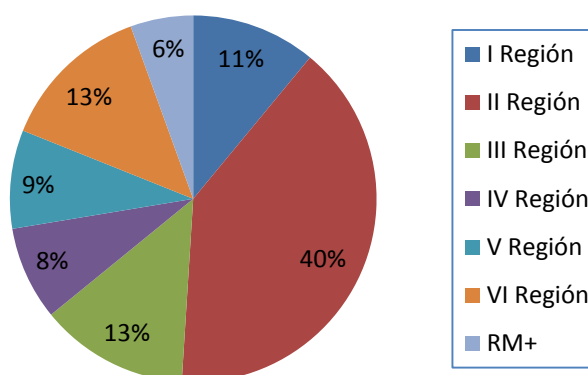


Figura 23: Distribución del consumo de agua fresca en Chile. Fuente: (COCHILCO, 2013)

Para satisfacer la necesidad de agua fresca, existe un delta que puede ser satisfecho a partir de la utilización de energía solar, para lo cual se estimó la energía eléctrica necesaria para satisfacer el consumo de agua desalinizada para los tres escenarios de producción de cobre. Los resultados se presentan en la siguiente figura.

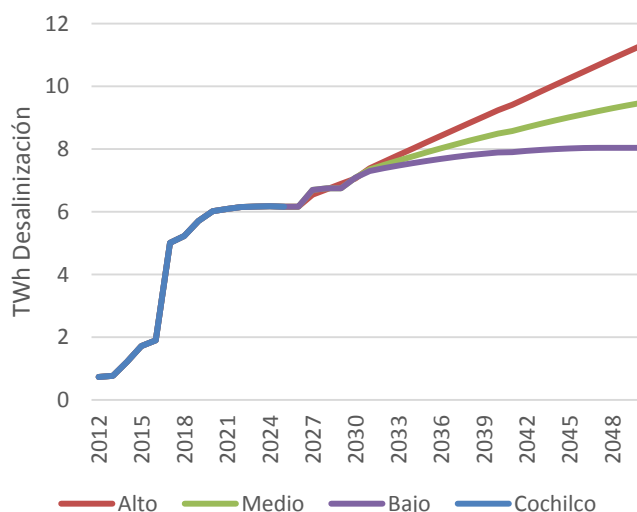


Figura 24: Proyección del consumo eléctrico por desalinizado en la industria del cobre. Fuente: Elaboración propia con datos de Cochilco, y proyecciones propias.

A partir de estos resultados, a continuación se dimensionará la electricidad para desalinización y para satisfacer la demanda del resto de los sectores considerados.

2.6.1.4 Dimensionamiento del mercado

2.6.1.4.1 Dimensionamientos solar térmica

Para el dimensionamiento de proyectos solares térmicos de baja potencia 1-10 MW, se realizó una estimación de la superficie necesaria para satisfacer las necesidades de calor de cada uno de los segmentos indicados en el Cuadro 3. Para esta estimación se tomó como supuesto un eficiencia media de la tecnología de 65% de captación, una radiación global horizontal anual promedio de $1879 \text{ kWh}^{21}/\text{m}^2$. Con estos supuestos se estimó un rango de la cantidad de proyectos de mediana potencia que se pueden desarrollar en el corto plazo (3 años) y en el largo plazo (año 2020).

²¹ Estudio Solarimétrico USACH

Cuadro 4: Número de proyectos estimados solar térmica para satisfacer demanda térmica.

Segmento	N° de potenciales proyectos. Corto Plazo	Número de proyectos post 2020. Largo Plazo
Cemento	80-160	80-160
Industrias varias	346-692	452-905
Cobre fundición	69-138	80-160
Lixiviación	8-16	11-23

Fuente: Elaboración propia a partir de consumos MAPS Chile.

2.6.1.4.2 Dimensionamiento solar fotovoltaico

Para el dimensionamiento de proyectos solares fotovoltaicos de baja potencia 0.3-10MW, se realizó una estimación de la superficie necesaria para satisfacer las necesidades de calor de cada uno de los diferentes segmentos. Para esta estimación se tomó como supuesto un eficiencia media de la tecnología de 16% de captación, una radiación global horizontal anual promedio de 1879kWh/m². Con estos supuestos se estimó un rango de la cantidad de proyectos de mediana potencia que se pueden desarrollar.

Cuadro 5: Número de proyectos estimados solar fotovoltaico para satisfacer demanda eléctrica.

Segmento	N° de potenciales proyectos. Corto Plazo	Número de proyectos post 2020. Largo Plazo
Cemento	1-4	1-4
Industrias varias	93-309	237-791
Cobre fundición	21-106	21-106
Lixiviación	36-178	36-178

Fuente: Elaboración propia a partir de consumos MAPS Chile.

2.6.1.4.3 Dimensionamiento CSP

Para el dimensionamiento de proyectos solares de concentración de baja potencia 0.3-10MW, se realizó una estimación de la superficie necesaria para satisfacer las necesidades de calor de cada uno de los diferentes segmentos. Para esta estimación se tomó como supuesto un eficiencia media de la tecnología de 22% de captación²², una radiación directa normal anual promedio de 3.656 kWh/m². Con estos supuestos se estimó la cantidad de proyectos que se pueden desarrollar.

²² Se tomó un valor conservador promedio del 22%. En el caso de la tecnología CSP, el factor de planta podría llegar al 70 u 80%.

Cuadro 6: Estimación número de proyectos de CSP para satisfacer demanda eléctrica.

Segmento	N° de potenciales proyectos. Corto Plazo	Número de proyectos post 2020. Largo Plazo
Cemento	0	0
Industrias varias	0	0
Cobre Fundición	2	3
Lixiviación	8	9

Fuente: Elaboración propia a partir de consumos MAPS Chile.

2.6.1.4.4 Dimensionamiento solar fotovoltaico aislado

Para el dimensionamiento de proyectos solares fotovoltaicos de baja potencia 0.3-10MW, se realizó una estimación de la superficie necesaria para satisfacer las necesidades de calor de cada uno de los diferentes segmentos. Para esta estimación se tomó como supuesto un eficiencia media de la tecnología de 16% de captación, una radiación global anual promedio de 1.879kWh/m². Con estos supuestos se estimó la cantidad de proyectos de baja pequeña-mediana potencia que se podrían desarrollar.

Cuadro 7: Estimación número de proyectos solares fotovoltaicos para satisfacer demanda aislada.

Sector (SING)	N° de potenciales proyectos. Corto Plazo	Número de proyectos post 2020. Largo Plazo
Viviendas	167	38.900

Fuente: Elaboración propia a partir de consumos MAPS Chile.

2.6.1.4.5 Dimensionamiento solar térmico aislado

Para el dimensionamiento de proyectos solares térmicos aislados de la red, se supuso un tamaño pequeño-mediano de 3kW y se realizó una estimación de la superficie necesaria para satisfacer las necesidades de calor de los sectores aislados. Para esta estimación se tomó como supuesto un eficiencia media de la tecnología de 65% de captación, una radiación global anual promedio de 1.879kWh/m². Con estos supuestos se estimó la cantidad de proyectos de baja potencia que se podrían desarrollar.

Cuadro 8: Estimación número de proyectos solares térmicos para satisfacer demanda aislada.

Sector (SING)	N° de potenciales proyectos. Corto Plazo	Número de proyectos post 2020. Largo Plazo
Viviendas	414	32.913

Fuente: Elaboración propia a partir de consumos MAPS Chile.

2.6.1.4.6 Dimensionamiento solar fotovoltaico procesos desalinización

Para el dimensionamiento de proyectos solares fotovoltaicos para procesos de desalinización, se supuso un tamaño pequeño-mediano de 10kW de potencia y se realizó una estimación de la superficie necesaria para satisfacer las necesidades de calor de los sectores aislados. Para esta estimación se tomó como supuesto un eficiencia media de la tecnología de 16% de captación, una radiación global anual promedio de 1.879kWh/m². Con estos supuestos se estimó un la cantidad de proyectos de baja potencia que se podrían desarrollar.

Cuadro 9: Estimación número de proyectos solares fotovoltaicos para procesos de desalinización.

Procesos	N° de potenciales proyectos. Corto Plazo	Número de proyectos post 2020. Largo Plazo
Procesos de desalinización	40	60
Procesos de impulsión	10.375	15.563

Fuente: Elaboración propia a partir de consumos MAPS Chile.

2.6.2 Demanda Internacional

Adicionalmente, dada la localización de la región de Antofagasta y la posibilidad de que la macro zona norte, se conviertan en un polo exportador de energía eléctrica a los países vecinos de Sudamérica, se revisará la situación energética de Argentina, Perú y Bolivia; intentando determinar la demanda eléctrica potencial futura de esta zona del continente. Parte de la visión del SERC para movilizar el desarrollo de la industria es generar un 30% de la demanda energética de la región al 2033 (SERC, 2014), por lo que este antecedente es relevante para proyectar la potencial demanda de generación eléctrica.

2.6.2.1 Situación de Argentina

Se espera que Argentina incremente su consumo eléctrico al año 2020 en un 33% respecto al año 2012, llegando a una demanda de 144.000 GWh. Esto implica una capacidad instalada de aproximadamente 42.000 MW, respecto a los 31.300 MW instalados al año 2013 (Escenarios Energéticos Argentina, 2013). Se visualiza una oportunidad de exportación de energía eléctrica a Argentina que se sustenta en la tasa de crecimiento de la demanda interna de ese país al año 2030 y la probabilidad de que esta no sea cubierta por la cartera actual de proyectos energéticos argentinos, por lo que se podría ampliar la importación de países vecinos, entre ellos Chile.

2.6.2.2 Situación de Perú

La proyección de la demanda de electricidad que se presenta, se realiza para el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) a nivel nacional, incorporando a los pequeños sistemas eléctricos aislados, mientras sea técnica y económicamente factible (MINEM, 2013).

En un escenario optimista se estima que entre los años 2011 a 2030, el incremento total de la demanda de potencia del SEIN será de 17.598 MW, adicionales a la demanda actual de 4.961 MW, registrada en diciembre de 2011. Es decir, se incrementará casi 4 veces más sobre el valor actual. En el mismo escenario se estima que durante los primeros 5 años (2011-2015) la demanda del SEIN se incrementará en un promedio de 857 MW/año con un crecimiento promedio de 13%. Respecto a los siguientes 03 quinquenios y hasta el año 2030, los crecimientos anuales promedio podrían ser menores, 8%, 6% y 6%, respectivamente. Sin embargo, le corresponde mayores valores de incremento promedio anual (808, 847 y 1.154 MW/año) (MINEM, 2013).

En el escenario optimista, se estima que entre los años 2011 a 2030, el incremento total de la demanda de energía del SEIN sería de 119 TWh adicionales a la demanda anual actual de 32,6 TWh registrada en el año 2011. Es decir, se demandará casi 4 veces más sobre el valor actual. En la misma lista de proyectos y escenarios se estima que en 5 años (2011–2015), la demanda de energía del SEIN se incrementaría en un promedio de 5,8 TWh/año a un crecimiento promedio de 12%. En los siguientes 3 quinquenios, entre los años 2016 a 2030, los crecimientos promedio podrían ser de 8%, 6% y 6%, mientras que sus incrementos promedio corresponderían a 5,6, 5,7 y 7,8 TWh/año, respectivamente (MINEM, 2013).

Respecto a la oferta de generación, en un escenario medio, la suma de proyectos previstos para los años 2011 a 2015 aportará al SEIN un incremento promedio de 869 MW/año. Esta oferta está compuesta por grandes centrales hidroeléctricas y termoeléctricas de gas natural y centrales basadas en energías renovables, como las centrales hidroeléctricas menores de 20 MW, parques eólicos y solares, y centrales eléctricas de biomasa. En los siguientes tres quinquenios, del año 2016 al 2030, los incrementos podrían ser de 645, 850 y 875 MW/año, respectivamente, considerando mantener un margen de reserva promedio de 41% (valor referencial solo para la presente evaluación, y calculado respecto a la proyección de demanda del escenario medio). Es decir, se estima que en un escenario medio, el incremento total de la oferta de generación que requeriría el país entre los años 2011 a 2030 sería de 17.148 MW (MINEM, 2013).

2.6.2.3 Situación de Bolivia

El Sistema Interconectado Nacional (SIN) de Bolivia suministra los principales núcleos urbanos del país y representa el 83% del total de la potencia instalada en el país. Este sistema cubre los Departamentos de Cochabamba, Chuquisaca, Oruro, Potosí y Santa Cruz, en toda la zona centro-

sur del país, con redes de más de 1.900 kilómetros. La población de las zonas norte y oeste del país son abastecidas por el sistema externo a la red (Sistema Aislado), careciendo incluso, muchas de ellas, de acceso a la electricidad. El Sistema Aislado corresponde a varios productores independientes en áreas rurales o aisladas.

La capacidad total instalada actual es de 1,4 GW, de los cuales el 66% corresponde a producción térmica, principalmente gas natural, y el 34% hidroeléctrica. En los datos históricos, se observa el aumento constante durante todo el periodo en la demanda eléctrica nacional, pasando de 2.207 kbep anuales en el 2000 a 4.098 kbep en 2012, es decir, prácticamente se duplicaron los requerimientos energéticos del país en una década. El cuadro siguiente presenta un resumen de las proyecciones de energía y potencia anual del SIN hasta el año 2022, además del histórico desde 1996.

Tanto en energía como en potencia se observa a partir del mediano plazo, la influencia de los emprendimientos productivos y mineros y de la incorporación al SIN de los sistemas aislados de Tarija y Chaco, con relación a las proyecciones de los Agentes del mercado, reflejados en la Programación de Mediano Plazo. Se aprecia un aumento esperado de casi un 100% en 10 años (CNDC, 2011).

2.6.2.4 Intercambio de energía entre países.

En la actualidad existe una red de interconexión entre países de América del Sur, que incluye la conexión de la Central Termoandes ubicada en la región noroeste argentina y el SING en Chile.



Figura 25: Red de interconexión entre países de América del Sur. Fuente: Comisión de Integración Energética Regional (CIER, 2011)

Según cifras de la Comisión de Integración Energética Regional (CIER), durante el año 2011 se registraron 51.491 GWh de intercambio entre países del cono sur americano, donde Argentina importó desde Brasil y Paraguay aproximadamente 10.750 GWh y exportó hacia Chile y Uruguay aproximadamente 1.000 GWh.

		EXPORTADOR							Total importaciones
		Argentina	Brasil	Colombia	Ecuador	Paraguay	Uruguay	Venezuela	
IMPORTADOR	Argentina		2.338	-	-	8.395	19	-	10.752
	Brasil	-		-	-	37.725	-	705	38.430
	Chile	732	-	-	-	-	-	-	732
	Colombia	-	-		8	-	-	-	8
	Ecuador	-	-	1.295		-	-	-	1.295
	Perú	-	-	-	6	-	-	-	6
	Uruguay	265	206	-	-	-		-	471
	Venezuela	-	-	249	-	-	-		249
Total exportaciones		997	2.544	1.544	14	46.120	19	705	51.943

Figura 26: Niveles de intercambio de electricidad entre países de América del Sur. Fuente: Comisión de Integración Energética Regional (CIER, 2011)

Para el gobierno de Chile, existe como objetivo avanzar en las opciones de interconexión eléctrica regional que incluye una mayor conexión entre Chile y Argentina en diversos puntos de nuestra frontera y con otros países del cordón andino de América del Sur.

Bajo esta mirada estratégica, se ha mantenido el apoyo gubernamental a iniciativas de discusión de integración eléctrica regional que contribuyan en el mediano y largo plazo a una mayor seguridad de suministro y diversificación de la matriz energética.

Uno de los temas importantes a resolver es el costo de la interconexión y las diferencias del precio de la electricidad entre los distintos países. Esto queda representado a partir del precio de la electricidad a consumidores finales, que informa la Comisión de Integración Energética Regional (CIER) con datos vigentes a Enero de 2012 para países de América del Sur.

En todos los países revisados se espera un crecimiento agresivo de la demanda eléctrica, la que a pesar de los variados recursos que existen en los países de la región, tienen importantes riesgos (técnicos, económicos, ambientales, geopolíticos, etc.) de ser aprovechados en el futuro. Los estudios de interconexión, como los resumidos en esta sección, concluyen que la interconexión va a depender exclusivamente de los costos de transmisión y generación de los distintos países, por lo que la oportunidad de exportación de energía a nivel regional es un tema real y factible de seguir siendo analizado a futuro.

2.7 IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE CAPACIDADES A NIVEL NACIONAL PARA POTENCIAR EL DESARROLLO DEL CLUSTER EN ANTOFAGASTA.

2.7.1 Principales regiones que concentran empresas e instituciones relevantes

Luego de la recopilación de información de la industria nacional en torno a las tecnologías FV, Termo y CSP se ha elaborado el siguiente mapa de actores y su presencia regional en el país.

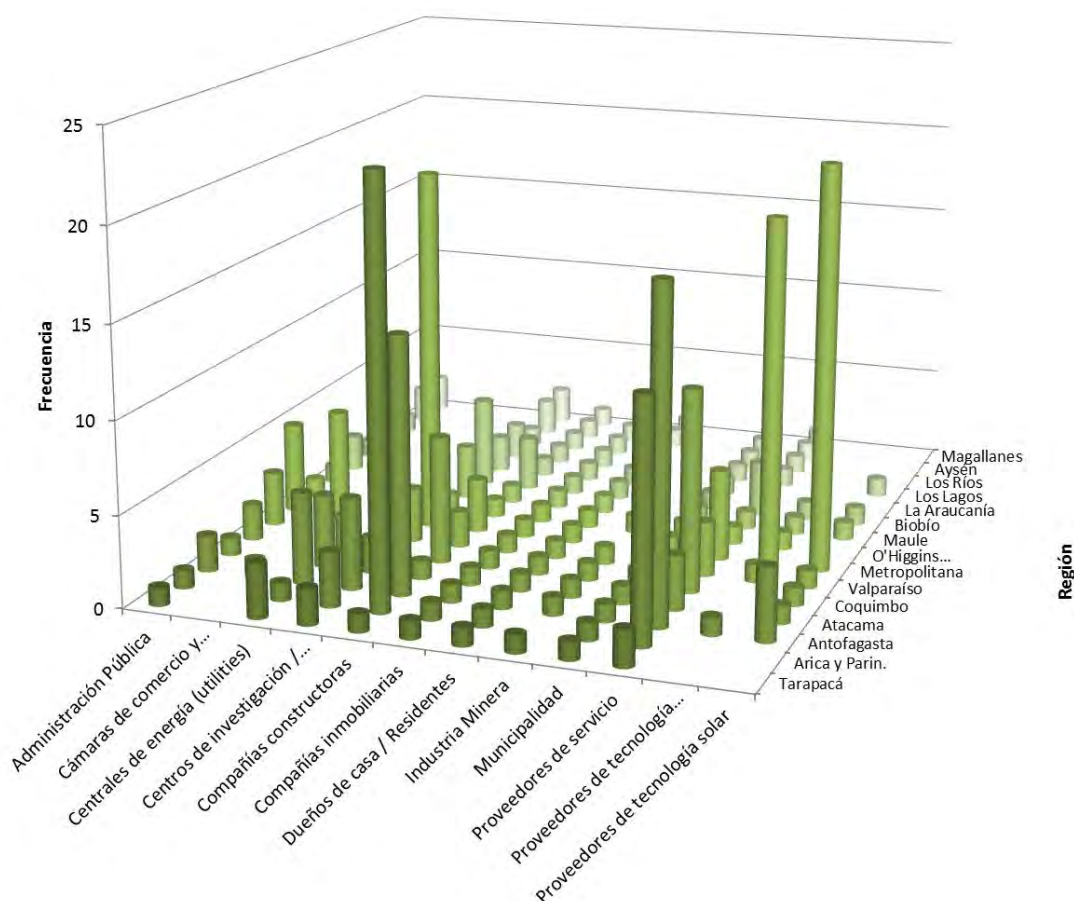


Figura 27: Sociograma de actores por región. Fuente: elaboración propia en base a Tekes, 2012

Se observa, a partir de las tablas de empresas e instituciones relevantes al desarrollo del cluster solar, que las regiones que concentran el mayor porcentaje y número de estas entidades, son la metropolitana (22,6%) , II (14,6%), III (4,3%), IV (8,1%), V (4,6%) y VIII(4,8%). Este es un indicador de aquellas regiones donde podría accederse a mayores entidades con capacidades empresariales e institucionales para el desarrollo del potencial del cluster solar de Antofagasta a partir de la vinculación.

Cuadro 10: N° de Empresas e instituciones relevantes al desarrollo del cluster solar por regiones

Cuenta de Empresas e Instituciones/Región	Arica y Parinacota	Tarapacá	Antofagasta	Atacama	Coquimbo	Valparaíso	Metropolitana	O'Higgins	Maule	Bío Bío	Araucanía	Los Ríos	Los Lagos	Aysén	Magallanes	Total
Administración Pública	1	1	2	1	2	3	5	1	1	2	1	1	1	2	2	26
Cámaras de comercio y fundaciones			1				6									7
Centrales de energía (utilities)	1	3	5	4	2		1									16
Centros de investigación / Universidades	3	2	5	2	3	3	20	1	3	5	2	1	2	2	2	56
Compañías constructoras	23	1	14	1	7	2	3	1	1	3	1	1	1	1	1	81
Compañías inmobiliarias	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	15
Dueños de casa / Residentes	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	15
Industria Minera		1	1	1	1	1		1								6
Municipalidad	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	15
Proveedores de servicio	13	2	18	3	11	3	5	1	1	3	1	1	1	1	1	79
Proveedores de tecnología conexa			1			1	19	1	1							24
Proveedores de tecnología solar			4	1	1	1	22		1	1			1			32
Total	43	13	54	16	30	17	84	9	11	18	8	7	9	9	9	372

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 11: Porcentaje Empresas e instituciones relevantes al desarrollo del cluster solar por regiones (%)

Empresas e instituciones /Región	Arica y Parinacota	Tarapacá	Antofagasta	Atacama	Coquimbo	Valparaíso	Metropolitana	O'Higgins	Maule	Bío Bío	Araucanía	Los Ríos	Los Lagos	Aysén	Magallanes	Total
Administración Pública	3,8	3,8	7,7	3,8	7,7	11,5	19,2	3,8	3,8	7,7	3,8	3,8	3,8	7,7	7,7	100
Cámaras de comercio y fundaciones	0,0	0,0	14,3	0,0	0,0	0,0	85,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100
Centrales de energía (utilities)	6,3	18,8	31,3	25,0	12,5	0,0	6,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100
Centros de investigación / Universidades	5,4	3,6	8,9	3,6	5,4	5,4	35,7	1,8	5,4	8,9	3,6	1,8	3,6	3,6	3,6	100
Compañías constructoras	52	1,2	17,3	1,2	8,6	2,5	3,7	1,2	1,2	3,7	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	100
Compañías inmobiliarias	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	100
Dueños de casa / Residentes	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	100
Industria Minera	0,0	16,7	16,7	16,7	16,7	16,7	0,0	16,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100
Municipalidad	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	100
Proveedores de servicio	30	2,5	22,8	3,8	13,9	3,8	6,3	1,3	1,3	3,8	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	100
Proveedores de tecnología conexa	0,0	0,0	4,2	0,0	0,0	4,2	79,2	4,2	4,2	4,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100
Proveedores de tecnología solar	0,0	0,0	12,5	3,1	3,1	3,1	68,8	0,0	3,1	3,1	0,0	0,0	3,1	0,0	0,0	100
Total	13,0	3,5	14,5	4,3	8,1	4,6	22,6	2,4	3,0	4,8	2,2	1,9	2,4	2,4	2,4	100

Fuente: Elaboración propia

En los párrafos siguientes se presentan para estas regiones el tipo de empresas e instituciones más relevantes para esta vinculación:

- A nivel nacional, la RM (XIII) concentra el 79,2% de las empresas proveedoras de tecnología conexa, el 68,8% de las empresas proveedoras de tecnología solar, el 35,7% de los centros de investigación y universidades, el 19,2% de las instituciones de la Administración Pública relevantes y el 87,5% de las cámaras de comercio y fundaciones. Santiago es sede de 3 de las 5 principales universidades del país. La Universidad de Chile y la Universidad Católica de Chile son las 2 principales universidades de Chile, le siguen la Universidad de Concepción y la Universidad de Santiago.
- La región III concentra el 3,6% de los centros de investigación y universidades y el 3,8% de los proveedores de servicio.
- En la región IV se concentra el 13,9% de los proveedores de servicio y el 8,6% de las compañías constructoras. Además en ella está el 5,4% de los centros de investigación y universidades del país.
- La región V concentra el 5,4% de los centros de investigación y universidades y el 3,8% de los proveedores de servicio del país. La Universidad Católica de Valparaíso, la Universidad Santa María y la Universidad de Valparaíso están entre las 10 universidades más importantes del país.
- La región VIII concentra el 8,9% de los centros de investigación y universidades, el 3,7% de las compañías constructoras y el 3,8% de los proveedores de servicio. La Universidad de Concepción está entre las 5 más importantes del país. También es importante la Universidad del Bío Bío.

2.7.2 Situación de la Región de Antofagasta y potencial de vinculación.

La siguiente es la situación de la región de Antofagasta y su potencial de vinculación con otras regiones de Chile para el desarrollo del cluster solar:

- La región de Antofagasta concentra el 7,7% de las instituciones de la administración pública relevantes al desarrollo del cluster a nivel nacional. La RM con un 19,2% de estas instituciones, presenta el mayor potencial de acceso a entidades con capacidades para el desarrollo del cluster a partir de la vinculación.
- La región de Antofagasta concentra el 14,3% de las cámaras de comercio y fundaciones relevantes al desarrollo del cluster a nivel nacional. La RM con un 87,5% de estas instituciones, presenta el mayor potencial de acceso a entidades con capacidades para el desarrollo del cluster a partir de la vinculación.
- La región de Antofagasta concentra el 8,9% de los centros de investigación y universidades relevantes al desarrollo del cluster a nivel nacional. La RM con el 35,7% de los centros de investigación y universidades, la Región VIII con el 8,9% y la Región V con el 5,4%, reúnen a

las top 7 universidades a nivel nacional, presentando el mayor potencial de acceso a entidades con capacidades para el desarrollo del cluster a partir de la vinculación. También son importantes las capacidades de la I, III, IV y XV.

- La región de Antofagasta concentra el 17,3% de las compañías constructoras relevantes al desarrollo del cluster a nivel nacional. La región IV con el 8,6% y la región XV con el 53,1% de las compañías constructoras del país, presentan el mayor potencial de acceso a entidades con capacidades para el desarrollo del cluster a partir de la vinculación.
- La región de Antofagasta concentra el 22,8% de las empresas proveedoras de servicio relevantes al desarrollo del cluster a nivel nacional. La IV región con el 13,9% de los y la XV región, con el 34,2% de las empresas e instituciones proveedoras de servicio del país presentan el mayor potencial de acceso a entidades con capacidades para el desarrollo del cluster a partir de la vinculación.
- La región de Antofagasta concentra el 4,2% de las empresas proveedoras de tecnología conexa relevantes al desarrollo del cluster a nivel nacional. La RM con el 79,2% de las empresas proveedoras de tecnología conexa, presentan el mayor potencial de acceso a entidades con capacidades para el desarrollo del cluster a partir de la vinculación.
- La región de Antofagasta concentra el 12,5% de las empresas proveedoras de tecnología solar relevantes al desarrollo del cluster a nivel nacional. La RM con el 68,8% de las empresas proveedoras de tecnología solar presentan el mayor potencial de acceso a entidades con capacidades para el desarrollo del cluster a partir de la vinculación.
- La Macro Zona XV a IV región tiene una concentración importante de las empresas relacionadas con la industria, lo que genera una sinergia muy interesante con la región II. En particular, en el caso de las regiones I y XV, existe el beneficio de la zona franca y la influencia de la minería, en toda la macro zona norte.
- En el caso de la RM, es innegable su importancia en la mayoría de los servicios, en particular los relacionados a consultoría, conexos y de empresas solares. Es labor del cluster intentar atraer a buena parte de estas empresas para que se instalen en la región y se pueda hacer m

La tabla siguiente presenta las regiones con potencial más relevante de vinculación por tipo de empresa e institución.

Cuadro 12: Potencial relevante de vinculación regional para el desarrollo del cluster

Tipo de empresa o institución	Regiones con potencial más relevante de vinculación
Administración pública	Metropolitana
Cámaras de comercio y fundaciones	Metropolitana
Centros de investigación/Universidades	Metropolitana, Valparaíso, Bío Bío
Compañías constructoras	Coquimbo, macro zona norte
Proveedores de servicio	Coquimbo, macro zona norte
Proveedores de tecnología conexas	Metropolitana
Proveedores de tecnología solar	Metropolitana

Fuente: Elaboración propia

2.7.3 Barreras a nivel general para la industria²³

La industria solar en Chile enfrenta una serie de barreras para su despliegue que deben ser analizadas a nivel nacional y regional. La consideración de las barreras a la energía solar a nivel global es crítico puesto que la solución a los problemas requiere de cambios normativos e institucionales que están fuera del alcance de intervención de la región de Antofagasta y que son fundamentales para propiciar un desarrollo adecuado del mercado de la industria solar en el país.

2.7.3.1 Barreras técnicas

Acceso a información técnica de radiación y evaluación de recurso: a pesar de los avances que se han logrado en los últimos años, aún falta información adecuada para el desarrollo de proyectos de energía solar que pueda facilitar la fase de pre inversión de los privados.

Para el óptimo desarrollo de proyectos se necesita una red de estaciones de alta calidad, que permita un mayor detalle y no tan solo una aproximación a gran escala y que abarque todo el país²⁴. Se requiere para esto una red actualizada de registro de radiación solar directa, difusa y global en una serie de puntos estratégicos. Esta red debe ser de acceso público y cubrir al menos unos 8 a 20 puntos estratégicos entre Arica-Parinacota y la Región de Atacama²⁵.

Variabilidad en el suministro: es una barrera propia de la energía solar y en general de las ERNC, sin embargo su grado de intensidad es diferente dependiendo de la tecnología de aprovechamiento solar. En el caso de la energía fotovoltaica, la variabilidad del suministro

²³ La definición conceptual que se utilizó para el análisis de barreras en esta sección se pudo encontrar en anexos.

²⁴ Análisis de barreras para el desarrollo de ERNC, Chilesustentable 2010.

²⁵ A la fecha, existe un registro realizado por la GIZ y el Ministerio de Energía. El mismo no es de fácil acceso y tiene solo una estación que cumple los estándares que hoy son comunes a nivel internacional

eléctrico es mayor, pero en general altamente predecible en el norte de Chile. Aún está en estudio y desarrollo tecnologías costo-efectivas que permitan integrar sistemas de acumulación energético para consumos en horas donde no está disponible la radiación solar.

Una de las medidas que podría mejorar esta intermitencia en el suministro es la interconexión SING-SIC ya que la integración de las diferentes tecnologías del SIC pudieran suplir unas a otras con las demás energías renovables, equilibrando y complementado el suministro de energía (Entrevista ACERA, 2014). En efecto, en el SIC existe capacidad de acumulación de energía en los embalses existentes. Hoy día la generación eléctrica a partir de los embalses se hace sobre todo en las horas del día. El disponer de abundante ERNC variable implica poder almacenar agua (energía) en los embalses para ser utilizada en horas donde se requiera.

Falta de capacidades técnicas a nivel país: los proyectos solares, en particular termosolares, son complejos desde el punto de vista de construcción, incluyendo obras civiles y equipamientos electromecánicos. La falta de capacidades en Chile, con la excepción de ingeniería hidráulica para el caso de ERNC, se ha traducido en sobre costos para industrias emergentes en el país, donde los primeros proyectos han tenido que importar la mano de obra especializada para el montaje de los proyectos. La falta de experiencia de la ingeniería nacional en tecnologías no maduras dentro del país se traduce en sobre plazos y sobre costos para los proyectos.²⁶

Limitada capacidad técnica de acceso al sistema eléctrico de baja potencia: para proyectos renovables y solares en particular de pequeña y mediana escala, una de las principales barreras técnicas es la limitada capacidad técnica de acceso a la red. De acuerdo a la estructura del sistema eléctrico chileno y la capacidad de la red de distribución (23 kV), el límite de capacidad que potencialmente se podría conectar a este sistema está en torno a los 9 MW. En este sentido, toda la generación de mediana escala, que partiría desde ese límite hasta las plantas menores (100 kW), no recibe ningún tratamiento especial, lo que en ocasiones hace inviable su desarrollo (ACERA, 2013).

2.7.3.2 Barreras económicas-financieras

Bajo acceso a financiamiento: un proyecto solar, ya sea fotovoltaica o de concentración solar de potencia a gran escala, tiene requerimientos financieros altos, siendo estos últimos más intensivos en capital por unidad de potencia instalada. La poca experiencia del sector financiero local en este nicho de negocio ha hecho que los desarrolladores tengan un complicado acceso al financiamiento.

En general, la banca solo financia contra garantías reales, esto último asociado a contratos de suministros con clientes no regulados denominados Power Purchase Agreement (PPA), en la

²⁶ Análisis de barreras para el desarrollo de ERNC, Chile sustentable 2010.

cual se acuerda un precio de abastecimiento con un cliente grande, garantizando los flujos de ingresos de los proyectos de energía por un período largo de tiempo.

En este sentido los desarrolladores de proyectos prefieren estos contratos a largo plazo que suministrar al sistema a un precio Spot que es muy variable en el tiempo, elevando la incertidumbre de los flujos de ingresos y reduciendo el acceso para el financiamiento del proyecto. La banca no financia proyectos que apuntan al mercado spot, por la variabilidad del mismo. Por lo tanto los proyectos que se han desarrollado con este mecanismo lo han hecho con financiamiento propio.

Además, a diferencia del mercado internacional de las ERNC y de los proyectos solares en particular, que se apoyan en los sistemas de financiamientos denominados Project Finance, las que se sustenta por la capacidad de generar flujos futuros de ingresos, el contexto actual de las ERNC en Chile se ha apoyado en préstamos corporativos, lo que significa acceso al financiamiento sólo por parte de las grandes corporaciones que cuentan con una calidad crediticia elevada. En este sentido, hay que tener en cuenta que los pequeños promotores no tienen el nivel de solvencia necesario para afrontar el volumen de deuda del proyecto con garantía de su balance (ACERA, 2013). Por esta razón, es una gran barrera de financiamiento para pequeños y medianos actores.

Esto podría ser un cuello de botella importante, considerando que la gran mayoría los pequeños desarrolladores de proyectos en Chile espera financiarlos a través de deuda, y pone de manifiesto la urgencia de generar nuevos instrumentos y capacidades para financiar el sector. En ese sentido, si bien los créditos blandos CORFO, que son operados por la banca privada, y el nuevo instrumento CORFO de garantías apunta a mejorar esta situación, es altamente probable que no sea suficiente para abordar totalmente este problema.²⁷

Variabilidad en el precio de la electricidad: la volatilidad de los precios, y por ende en los ingresos de los proyectos solares y renovables en general a gran escala es otro punto crítico que dificulta el desarrollo de centrales de ERNC. El riesgo del precio de venta de la energía, está motivando que las instituciones financieras pongan trabas a los esquemas de financiamiento (en especial el método “Project Finance”), ya que es un riesgo para las entidades financieras la incertidumbre de los futuros ingresos por venta de energía de los proyectos solares y renovables en general.

Problemas en el acceso a financiamiento para proyectos de mediano y pequeño tamaño: no hay subvenciones asociadas a los proyectos de pequeña escala. Se ha mirado mercados internacionales en donde había subvenciones y hoy ya están dando marcha atrás. Sin embargo

²⁷ Oportunidades y barreras domésticas a las energías limpias en Chile. Internal Institute for Sustainable Development, 2010.

se cree que es mejor un sistema de financiamiento que a través de créditos blandos de los bancos, se pague la deuda con el ahorro generado por los sistemas fotovoltaicos de los usuarios (Entrevista ACESOL, 2014)

Además, el sistema financiero para proyectos solares de mediana escala es escaso, los proyectos de 100 KW a 3.000 kW no tienen financiamiento, es decir no existen bancos que financien estos sistemas, por lo que hay un vacío en la posibilidad de desarrollar una industria solar a mediana escala (Entrevista ACESOL, 2014).

2.7.3.3 Barreras institucionales

Desinformación de terrenos fiscales: la información de terrenos fiscales, respecto a la exploración y eventual explotación de recursos energéticos en los mismos, es limitada. El Ministerio de Bienes Nacionales no ha publicado, o no cuenta con un mapa que señale los terrenos de propiedad fiscal. El Servicio de Impuestos Internos (SII), cuenta con una base de datos actualizada con el número de rol, identificación del propietario y otros datos de todas las propiedades del país, pero tampoco cuenta con un mapa de ubicación que vincule el número de rol con las coordenadas geográficas de las propiedades rurales, que son las de interés en este caso.²⁸ Así, es imposible acceder a la información acerca del propietario de un sitio promisorio, desde el punto de vista energético. En este sentido, el proyecto no se puede materializar producto de la demora y extensa labor de investigación para identificar al propietario, aumentando la tramitación para este tipo de proyectos y reduciendo el incentivo para los desarrolladores a seguir adelante con sus proyectos de energía.

Problemas en la evaluación y aprobación de proyectos: el sistema de evaluación ambiental tiene múltiples actores que deben pronunciarse ante un proyecto, incluso uno relativamente pequeño. Van desde los Ministerios hasta la CONAF y el Consejo de Monumentos Nacionales. También tienen un rol importante los Municipios. Estos últimos deben otorgar permisos de construcción y recepción de obras. Como los proyectos de ERNC son nuevos, es común encontrarse de que las instituciones no saben bien cómo responder. Y esto conlleva a atrasos en los proyectos, lo cual aumenta costos.

Falta de remuneración por potencia firme: El mercado eléctrico chileno remunera a las generadoras por energía (pago por kWh generado) y potencia firme (aporte que realizan las unidades de generación a la seguridad del sistema, valorando la capacidad de estar presente ante requerimientos intempestivos de potencia).

Esta última se remunera a través del precio de la potencia de punta, definido como “el costo marginal anual de incrementar la capacidad instalada del sistema eléctrico con las unidades más económicas, incrementando en un porcentaje igual al margen de reserva de potencia teórico del

²⁸ Análisis de barreras para el desarrollo de ERNC, Chile sustentable 2010.

sistema eléctrico”²⁹. El precio de potencia de punta se calcula de acuerdo a una historia de desempeño de la central y/o tecnología que estima la disponibilidad de capacidad esperada para un periodo de tiempo, de manera que la potencia firme es siempre una fracción de la potencia nominal. Esta remuneración, en términos comparativos, favorece en su etapa más temprana a los proyectos térmicos y perjudica a algunas tecnologías renovables. Lo anterior, no porque éstas tengan factores de planta relativamente bajos, como es el caso de energía eólica o solar, sino por la falta de historia de estas tecnologías en nuestros mercados y la falta de una metodología adecuada para asignar este atributo a cada proyecto. Si bien el pago por potencia es comparativamente menor al que se hace por energía, es un elemento más que juega en contra de un retorno atractivo para un inversionista en ERNC. Esto se podría solucionar con un pago por capacidad, concepto diferente a potencia firme.

Precios no reflejan externalidades: la barrera más significativa, pero menos conocida por la sociedad, es que los precios de la electricidad excluyen las externalidades asociadas a la emisión de gases efecto invernadero (GEI) de las fuentes térmicas. Como expresa la Agencia Internacional de Energía, la ausencia de medidas que reflejen los costos de emitir GEI corresponde al principal obstáculo para el desarrollo de las ERNC en Chile.

Esta distorsión opera como un subsidio oculto para las fuentes térmicas, cubriendo las ventajas ambientales de las ERNC y haciéndolas menos competitivas. Numerosos estudios estiman que si estas externalidades fuesen reflejadas por los precios de la electricidad, diversas ERNC serían financieramente mucho más competitivas frente a las fuentes convencionales.

Chile debe emular la experiencia internacional e introducir metas de reducción de emisión de GEI. Para cumplir con estos objetivos, debe implementar incentivos económicos que pongan precio a las emisiones de GEI de las fuentes generadoras de electricidad, por medio de cobros específicos o permisos de emisión transables (Edmundo Claro, Director Centro de Energía y desarrollo Sustentable UDP). Es en esta línea que la introducción de un impuesto al carbono de 5 USD/t como parte de la reforma tributaria actual podría beneficiar el desarrollo de renovables y hacerlas más competitivas.

Limitación a puntos de conexión: en muchos casos, las mejores ubicaciones geográficas para desarrollar proyectos de ERNC y proyectos solares en particular, se encuentran en zonas remotas y alejadas de los sistemas de transmisión en donde el potencial del recurso permite en gran parte la viabilidad.

Históricamente esta situación ha limitado la conexión de grandes volúmenes de ERNC, ya que el marco regulatorio actual no atiende claramente el problema de conexión de dichas plantas a los sistemas de transmisión. La falta de mecanismos de fomento e incentivos a la conexión de las

29 Análisis de barreras para el desarrollo de ERNC, Chile sustentable 2010.

zonas remotas es una de las barreras más críticas. Además de los costos propios de las líneas de conexión de las instalaciones de generación con el sistema transmisión, las limitaciones de carácter administrativo en la gestión de las servidumbres pueden retrasar o incluso provocar la retirada de los proyectos de ERNC.

El Gobierno de Chile ha estado trabajando en ambas áreas y existen sendos proyectos de ley para agilizar estos trámites, así como para establecer la carretera eléctrica que permitirá agilizar los procedimientos. A pesar de estos avances, hay críticas que han indicado que esta planificación no ha integrado suficientemente la información referente al potencial de generación disponible, incluidas las ERNC.

La línea argumental adoptada en relación a estas críticas es la tensión que se considera en este proyecto (500 kV y 220 KV), mientras que muchos de los proyectos de ERNC se conectan en tensiones de 110 kV (ACERA, 2013).

El proyecto de la carretera eléctrica ha sido retirado de la tramitación en el Congreso para ser revisado y modificado si es que es necesario. No se dispone de más antecedentes respecto a las modificaciones que se llevarán a cabo y las fechas en que ellas se presentarán.

Pese a los cambios regulatorios para mejorar la posición de las energías renovables en cuanto a su acceso a la red de transmisión (Ley Corta I), en casos en que la construcción de la línea de transmisión es relevante, este puede convertirse en un factor crítico. Por ejemplo, el estudio del PNUD estima que en proyectos en que la construcción de la línea de transmisión es relevante debido a la distancia que les separa de los puntos en los cuales se pueden conectar al sistema, los costos de construcción del proyecto pueden aumentar en un 20%. Ello, en definitiva podría indicar que la construcción de la línea podría ser el elemento clave en determinar si el proyecto de energía renovable es o no rentable, ya que el generador deberá incurrir en costos adicionales para financiar dicha expansión según el esquema normativo vigente de costos hundidos “deep connection charges”.

Si bien este punto está siendo actualmente abordado por el gobierno, y se encuentra en fase de aprobación en Contraloría un subsidio a las líneas de transmisión para los proyectos de energías limpias, no se tienen detalles del alcance del instrumento ni de cuándo estará operativo. En el caso de las líneas de transmisión, una de las principales barreras se asocia a la obtención de las servidumbres sobre los terrenos por donde pasará la línea, ya que es necesario notificar a todos los dueños, que en la mayoría de los casos son muchos debido a las sucesiones en zonas rurales y esta notificación se puede hacer sólo por tres vías: receptores judiciales, carabineros y notarios públicos. Por estos medios, las notificaciones se transforman en un trámite engorroso y largo que desincentiva a las empresas que construyen líneas a hacerse cargo del mismo, por lo que actualmente solicitan al generador que, junto con la solicitud a la empresa de transmisión o

distribución para la construcción de la línea, entregue el expediente con las respectivas servidumbres ya tramitadas.³⁰

Falta de instituciones de certificación y de control sobre los servicios de garantías post venta: para el caso de la industria chilena de generación de calor a través de energía solar, el mercado es muy atomizado, con bajas barreras de entrada y salida y la mayor parte del equipamiento es importado lo que plantea desafíos acerca de las garantías para las empresas que comercializan esta tecnología, por lo que es necesario contar con mecanismos adecuados que permitan consolidar un mercado que entregue confianza a los consumidores. En esta primera etapa de desarrollo, la experiencia indica que existen problemas e incertidumbre respecto a la mantención y servicios de garantías post venta a la instalación (Díaz, 2012).

En cuanto a la certificación de equipos, los colectores solares cuentan con protocolos de certificación de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC) que se crearon junto a la franquicia para la instalación de colectores en nuevas edificaciones (Superintendencia de Electricidad y Combustibles, 2010).

Bajos incentivos a generación distribuida: existe una ley de net billing que a diferencia del net metering, el usuario que inyecta a la red recibe menor dinero por energía de lo que consume de la red, (aproximadamente la mitad) por lo que los *payback* de las instalaciones son más largos que si fuera al mismo precio (10 años contra 6 en Santiago por ejemplo). Esto representa una barrera para la masificación del desarrollo de la energía solar a pequeña y mediana escala (Entrevista ACESOL, 2014).

Pocos incentivos a proyectos solares aislados: si bien existen algunos fondos públicos que ayudan a cofinanciar proyectos de energía solar en comunidades aisladas, como el Fondo Acceso Energético (FAE) que busca abordar a todas aquellas personas que quieran utilizar, a pequeña escala, ERNC para uso local y comunitario, especialmente en sectores rurales, vulnerables y/o aislados, y la Fundación para la innovación Agraria (FIA) enfocado en el sector agroalimentario y forestal, estos no permiten satisfacer una alta penetración de proyectos solares en sistemas aislados y no siempre están abiertas los concursos para que las empresas desarrolladoras de proyectos solares puedan postular. En este sentido, se aconsejaría destinar mayor cantidad de recursos humanos para agilizar estos concursos y asignación de fondos públicos para generar un mayor dinamismo en el desarrollo de proyectos solares aislados. Además, estos concursos no consideran la variable de la calidad de los sistemas solares a la hora de calificar los proyectos, ya que existen proyectos que han ganado estos fondos que

³⁰ Oportunidades y barreras domésticas a las energías limpias en Chile. Internal Institute for Sustainable Development, 2010.

actualmente presentan problemas de control en los equipos electrónicos y eléctricos.³¹ (Vásquez, 2014)

2.7.3.4 Barreras sociales

Falta de información: en términos genéricos para todas las renovables, su penetración se ve afectada por la falta de conciencia o información acerca de las oportunidades que puede significar para los diferentes stakeholders. Es por esto que los consumidores necesitan inicialmente altos niveles de información que les permitan identificar una solución de ERNC como viable, puesto que en el proceso de incorporación de una nueva tecnología los usuarios finales requieren utilizar más tiempo y energía en evaluar las ventajas y desventajas de las diferentes alternativas. Para la masificación las renovables, los consumidores necesitan confiar en los atributos de la tecnología, conocer su operación o al menos confiar en que contarán con especialistas capaces de hacerse cargo de su mantención o reparación.

Oposición local al desarrollo de proyectos: las ERNC, y los proyectos solares en particular aun cuando presentan menores impactos ambientales en comparación con los megaproyectos energéticos de origen fósil, están enfrentando una oposición local creciente. En este fenómeno concurre la mayor sensibilidad de la ciudadanía ante desarrollos relativamente grandes en la escala local, la falta de información y conocimiento sobre proyectos energéticos en general, y de energías renovables en particular, así como la percepción de daño y riesgo que la comunidad ve en una iniciativa particular cerca de su entorno. Esto ha llevado que algunos proyectos hayan debido enfrentar una oposición fuerte de la comunidad local, lo que se ha traducido en atraso o postergación del proyecto mismo (ej. Proyecto eólico Laguna Verde). En relación a esta situación, es fundamental que desarrolladores de ERNC no cometan los errores en la relación con la comunidad que han cometido los grandes proyectos, y se respeten los derechos previos y las titularidades territoriales³².

³¹ Entrevista a empresa concursante en fondos FAE y FIA, 2014.

³² Análisis de barreras para el desarrollo de ERNC, Chile sustentable 2010.

3 DIAGNÓSTICO DEL POTENCIAL DE LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN CLUSTER DE ENERGÍAS SOLAR DE CALIDAD MUNDIAL.

A continuación se presenta los principales elementos del diagnóstico de las ventajas y desafíos que existen en Chile y en particular en la región de Antofagasta, para el desarrollo de la industria solar a nivel nacional y de un cluster de energía solar a nivel local.

El diagnóstico se realizó en tres niveles de análisis.

1. Por una parte, la descripción del **macro ambiente de negocios** que incorpora variables políticas, económicas, sociales, tecnológicos y ambientales, que para el caso de Chile juegan a favor del desarrollo y crecimiento de la industria solar y del cluster solar en la región de Antofagasta.
2. En un segundo nivel, se analiza **las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas a lo largo del sistema de valor de la industria** que permiten identificar segmentos y nichos donde es posible generar valor desde Chile y en particular desde la región de Antofagasta dentro de la industria solar.
3. Finalmente en un tercer nivel, se **analiza las ventajas competitivas que ofrece la región de Antofagasta** para el emplazamiento de un cluster de nivel mundial en energía solar.

3.1 MACRO AMBIENTE DE NEGOCIOS

A través del análisis PESTA se realiza una valoración del atractivo del macro ambiente general de negocios para el desarrollo del cluster solar desde la perspectiva política, económica, social, tecnológica y ambiental. La unidad de análisis es el país, la región de Antofagasta y las tendencias a nivel internacional y regional que se consideraron más relevantes para el desarrollo del estudio. En esta sección se presentan las principales conclusiones del análisis PESTA, la información detallada puede ser consultada en los anexos de este informe.

3.1.1 Dimensión política

Las condiciones políticas para el desarrollo de la industria solar son favorables. Hasta la fecha, la política de promoción de las ERNC en Chile se caracterizaba por su neutralidad y orientación hacia el desarrollo de una demanda, sin establecer prioridades entre las diferentes fuentes energéticas y aplicando instrumentos de política neutros. Asociado a los nuevos lineamientos de la agenda de energía y las políticas de fomento de la CORFO, se observa una mayor direccionalidad de la política y una oportunidad de crecimiento para la industria solar.

A nivel estratégico de las políticas energéticas y ambientales de Chile, las ERNC se han posicionado como un elemento central para favorecer la diversificación de la matriz eléctrica del país y propender hacia un modelo de desarrollo más sustentable, destacando la energía solar

entre las fuentes renovables con mayor proyección³³.

En la Agenda de Energía 2014, se releva la energía solar en sus orientaciones estratégicas y líneas de acción específicas. Se proyecta potenciar el autoconsumo en micro y pequeñas empresas, se incluyen políticas de promoción de colectores solares térmicos en viviendas sociales, junto con el desarrollo de un Programa de Techos Solares en edificios Públicos por cuatro años, para impulsar la maduración del mercado fotovoltaico orientado a autoconsumo

CORFO ha definido como parte de su política estratégica selectiva la promoción de la industria solar. En torno a este tema se han armado mesas de trabajo para la construcción de una visión compartida en torno a la industria, la identificación de brechas y la elaboración de una hoja de ruta para su desarrollo. Como apoyo a este programa, el Ministerio de Economía ha dispuesto de un fondo de inversión estratégica para el diseño y desarrollo de infraestructura productiva, estudios de factibilidad, actividades de fortalecimiento de capital humano avanzado y otras acciones en sectores con alto potencial de crecimiento y de creación de empleo (Agenda de Productividad, Innovación y Competitividad) orientadas a dar solución a las brechas que sean identificadas en cada una de los sectores que han sido priorizados.

En particular para la industria solar, el propósito del programa será “Desarrollar una industria de energía solar a partir de soluciones de base tecnológica que cumplan con estándares de calidad de clase mundial y precios competitivos, para mejorar sustancialmente la productividad del país y transitar hacia una economía del conocimiento, aprovechando las privilegiadas condiciones de laboratorio natural que presenta el país”. La meta para el programa será: “Ser referente a nivel global de soluciones energéticas de la industria de solar, alcanzando al año 2025 al menos un 10% del total del mercado tecnológico solar Sudamericano, generando una oferta en base a tecnologías adaptadas y/o desarrolladas en Chile”.

Como apoyo a este programa, el Ministerio de Economía ha dispuesto de un fondo de 1.000 millones de USD para el diseño de instrumentos específicos que deberán responder a la solución de las brechas que sean identificadas en cada una de los sectores que han sido priorizados.

En términos normativos e institucionales, se visualizan proyectos importantes:

- ✓ Cambios normativos para generar mayor competencia en el sistema de generación y fortalecimiento y expansión del sistema de transmisión troncal que permita el acceso a la red de pequeños proyectos ERNC (Seremi Energía, 2014).

³³ Estrategia energética 2012-2030; Informe del CADE, Agenda de Energía 2014, Orientaciones estratégicas para la innovación, CNIC.

- ✓ Rediseño de las bases de licitación de largo y corto plazo en el sistema eléctrico incorporando en especial los requerimientos de los generadores de ERNC para facilitar su participación en el mercado.
- ✓ Adecuación normativa de la operación de los Sistemas Interconectados para la incorporación eficiente y segura de las ERNC. Entre las materias que se revisarán se encuentran los parámetros definidos para el despacho de centrales térmicas, el control automático de generación y el pronóstico de generación ERNC.
- ✓ En términos institucionales, se creará como parte de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles una unidad especializada en la fiscalización y seguimiento de las alternativas de autogeneración térmica y eléctrica de modo de asegurar la calidad de las soluciones que el mercado ofrezca (Ministerio de Energía, 2014).

A nivel regional, es importante destacar que la región de Antofagasta a través de su Seremi de Energía y Economía se encuentra desarrollando acciones para diseñar un Programa Estratégico Regional para el Sector Energía de la Región de Antofagasta, que se espera cuente con una dimensión de impulso de las ERNC, donde la Energía Solar debería ser un eje central.

3.1.2 Dimensión económica

Chile se plantea como un país con una economía estable que debiese seguir expandiéndose de forma vigorosa y que se sustenta en políticas macro y micro económicas predecibles y transparentes para todos los actores que participan del sistema. Al 2012, a nivel país, cinco sectores de la economía corresponden a más del 10% del PIB. El más relevante es servicios con un 25%, minería con un 16%, comercio, restaurantes y hoteles con el 14% e Industria manufacturera con un 14%. A nivel de la región de Antofagasta, la composición de la actividad económica es diferente. Las principales actividades corresponden a Minería con el 61%, Construcción con un 12%, Servicios con un 8% y Transporte e industria manufacturera con un 5%. Esta composición del PIB es relevante para proyectar el potencial desarrollo de la industria solar, pensando en que además del desarrollo del potencial eléctrico para sumarse al sistema interconectado, aplicaciones de energía solar podrían ser sinérgicas con actividades estratégicas para la región en la industria minera y de la construcción. Sin embargo, es importante considerar las tendencias en los posibles cambios en la estructura productiva de la región si se considera el comportamiento de la industria minera que puede en el tiempo disminuir su participación en el PIB regional.

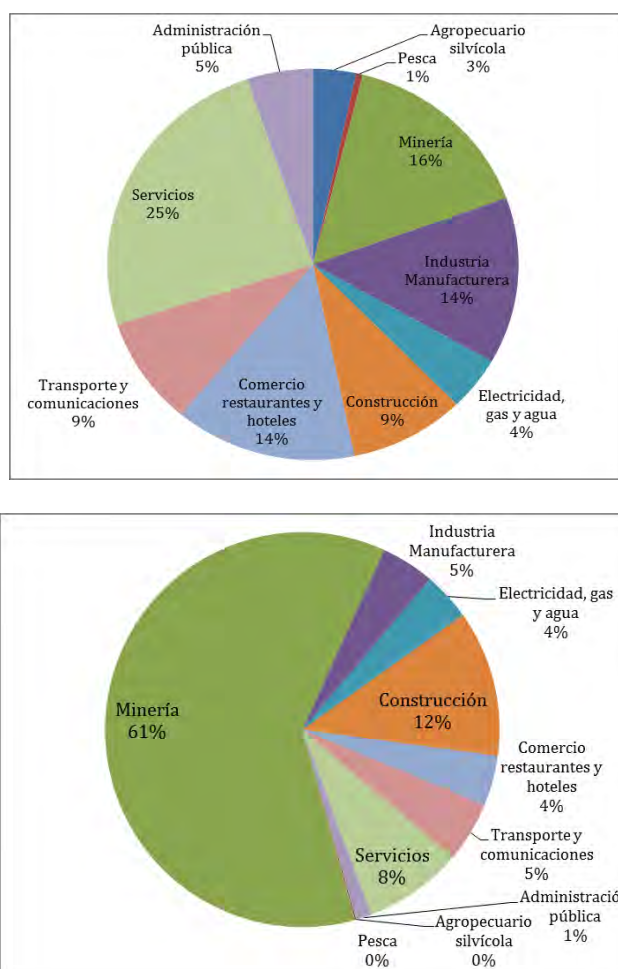


Figura 28: Composición del PIB por clase de actividad económica total país (año 2012) (izq) y composición del PIB por clase de actividad económica II región (año 2012). Fuente: Banco Central, 2014

El tema energético se considera estratégico para el desarrollo del país y hoy en particular enfrenta una etapa de definiciones importante para el mediano y largo plazo. Asociado a la proyección de crecimiento económico del país, que se estima entre un 1, 75 y 2,25% al 2014, se estima un aumento de la demanda energética del orden del 5% anual al 2030 (MAPS Chile, 2014). Este alto crecimiento de la demanda energética se traduce en que el aumento del consumo de energía se estima en más del 80% al año 2030. En el caso de la energía eléctrica, el consumo se duplicará en el periodo 2013 – 2030, con una tasa anual de crecimiento del 6,3% (MAPS Chile, 2014).

Al mismo tiempo, Chile es un país altamente dependiente del mercado internacional para satisfacer su demanda energética. Según el Balance nacional de energía del 2012, el país importa el 60% de su energía primaria lo que genera condiciones de vulnerabilidad frente a la

inestabilidad y volatilidad de los precios en los mercados internacionales y las restricciones de abastecimiento que se produzcan por fenómenos políticos, climáticos o de mercado (Ministerio de Energía, 2014).

Por su parte, los costos de la energía han aumentado en la última década tanto para el sector regulado como para los clientes libres del sistema eléctrico Chileno. Al 2013, las cuentas de electricidad de las familias chilenas son un 20% superior respecto al año 2010 y se espera un alza del orden del 34% en la próxima década de mantener las condiciones actuales. Por su parte para los clientes libres se ha duplicado los precios de la energía en la última década, alcanzando los precios más altos en América Latina, lo que significa un impacto negativo en la competitividad del país.

La proyección de la demanda energética del país, asociada a una tasa de crecimiento económico sostenido en el tiempo, plantea una oportunidad importante para el desarrollo de la industria solar, que potencialmente junto con otras renovables deberá contribuir a la oferta energética. El alto costo de la energía durante la última década y la madurez y baja sostenida de los costos de la energía solar ofrecen una ventana de oportunidad que se manifiesta en la entrada de proyectos de generación en los últimos 2 años³⁴.

Adicionalmente, a estos elementos, en la ley 20.780, de reforma tributaria, Artículo 8º, recientemente aprobada, establece impuesto anual de beneficio fiscal que gravará las emisiones al aire de material (MP), óxidos de nitrógeno (NOx), dióxido de azufre (SO₂) y dióxido de carbono (CO₂), producidas por establecimientos cuyas fuentes fijas, conformadas por calderas o turbinas, individualmente o en su conjunto sumen, una potencia térmica mayor o igual a 50 MWt (megavatios térmicos), considerando el límite superior del valor energético del combustible, en el caso de las emisiones de dióxido de carbono, el impuesto será equivalente a 5 USD por tonelada de CO₂ en plantas generadoras mayores a 50MW. La introducción de este impuesto, al menos en términos teóricos, debiese favorecer que las empresas internalicen parte de las externalidades ambientales generadas a partir de la utilización de fuentes fósiles a favor del desarrollo del mercado de las energías renovables.

³⁴ Hasta Julio del presente año, se completaron 1.716 MW de capacidad instalada en operación de energías renovables, del cual se encuentran 11 proyectos en funcionamiento fotovoltaicos de 189 MW correspondiente al 12% del total. En estado de se encuentran 100 MW de tecnología CSP y 487 MW de tecnología FV. Por otro lado, los proyectos con Resolución de Calificación Ambiental (RCA) aprobados ascienden a 760 MW de CSP y a 6.150 MW en FV. Por último, se encuentran los proyectos en etapa de calificación hasta la fecha que ascienden a 4.247 MW de tecnología FV. A continuación se observan las diferentes magnitudes en cada etapa con respecto a las demás fuentes de energías renovables (CER 2014)

3.1.3 Social

A nivel social nacional, existen altos niveles de contestabilidad social para el emplazamiento del proyectos de generación eléctrica. La ciudadanía ha tenido la capacidad de generar respuestas políticamente organizadas para oponerse a la instalación de centrales de generación en base a carbón (Castilla), hidroeléctricas de gran envergadura (Hidroaysen), pero también a proyectos renovables como es el caso del parque eólico Chiloé. Sin embargo, se considera que las ERNC son mejor percibidas por la ciudadanía que otras fuentes como el carbón y generan menor rechazo (GESCAM, 2012).

Al mismo tiempo, las encuestas de opinión plantean cambios en las pautas de consumo y valoraciones de los chilenos en los últimos años, ganando preponderancia la agenda ambiental del país entre los intereses de las personas (CEP, 2010).

Para el caso específico de Antofagasta, la dimensión social del ambiente de macro negocios se ve afectada positivamente porque la región enfrenta un alto dinamismo en cuanto a la capacidad de movilización y organización para el fortalecimiento de una trama productiva. Según información generada a partir de entrevistas, la región cuenta con una de las asociaciones empresariales mejor organizadas del país y tiene la capacidad de impulsar políticas de impacto productivo relevante entre sus socios (Entrevista, ACERA). Esta situación constituye un activo social muy valioso para el desarrollo de la industria. Al mismo tiempo, la región cuenta con la experiencia del desarrollo del cluster minero (con evaluaciones mixtas respecto de su desempeño), pero que sin lugar a dudas, entrega una experiencia que puede nutrir la definición e implementación de nuevas iniciativas de cluster.

En contrapartida, pensando en la localización de empresas en la región de Antofagasta para lograr extraer la mayor cantidad de rentas en post de su desarrollo, la calidad del hábitat y calidad de vida de la región se consideran insuficientes para atraer y retener capital humano especializado. Este juicio es controversial puesto que la segunda región y en particular la ciudad de Antofagasta aparece como una de las ciudades con mejores indicadores de calidad de vida a nivel nacional. Sin embargo, la percepción de las personas entrevistadas, probablemente comparando con Santiago, la capital del país y potenciales países de origen de expertos en energía solar destacan problemas con los atractivos de la ciudad, la calidad de la educación a la que pueden acceder, la disponibilidad de una oferta cultural atractiva y las dificultades asociadas a la persistencia de problemas ambientales.

3.1.4 Ambiental

La incorporación de ERNC en la matriz energética es considerada como una medida de mitigación estratégica para alcanzar niveles de reducción significativos de gases de efecto invernadero (GEI) al 2030 (MAPS-Chile, 2013). En particular para el sector generación que al

2013 representa 34% de las emisiones de GEI del país. Al mismo tiempo, el sistema de evaluación de impacto ambiental, al incorporar la evaluación de externalidades asociadas al desarrollo de los proyectos en términos ambientales y sociales, podrían favorecer el desarrollo de proyectos de ERNC por contar con menores impactos ambientales esperados en comparación a las fuentes tradicionales de generación de electricidad (GESCAM, 2012)³⁵.

3.2 OPORTUNIDADES Y DESAFÍOS A LO LARGO DEL SISTEMA DE VALOR PARA EL DESARROLLO DE LA INDUSTRIA SOLAR.

3.2.1 Definición de los sistemas de valor de las industrias consideradas

El diagnóstico de la industria solar e investigación en Chile y en específico en la región de Antofagasta se realizó analizando los diferentes componentes del sistema de valor de la industria solar en sus aplicaciones tecnológicas fotovoltaicas, termosolar y CSP.

La descripción y análisis del sistema de valor de la industria solar incluye a proveedores, productores, distribuidores y compradores que participan en el desarrollo de esta industria a nivel nacional y regional. En términos teóricos, el análisis permite identificar ventajas competitivas asociadas a la optimización y coordinación de estos segmentos.

La utilización del modelo de la cadena de valor y de sistema de valor para el análisis de las empresas e instituciones de la industria, permite analizar las fortalezas y debilidades de la o las empresas del cluster en el desarrollo de sus actividades y detectar cuellos de botella, aspectos que deben potenciarse, y fortalezas que pueden ser aprovechadas como ventajas competitivas.

El diagnóstico del sistema de valor de la industria solar para la región de Antofagasta se realizó para los diferentes componentes del sistema: i) manufactura de equipos, ii) desarrollo de proyectos e implementación, iii) operación y mantenimiento, iv) actividades de formación y v) actividades científicas y tecnológicas. Para cada uno de ellos se identificó oportunidades, amenazas, fortalezas y debilidades de cada ámbito considerando las siguientes variables: i) marketing y ventas, ii) producción y operación, iii) infraestructura de la empresa, iv) capacidad de gestión financiera, v) gestión de recursos humanos, vi) desarrollo de tecnología y v) adquisiciones, según sea relevante³⁶.

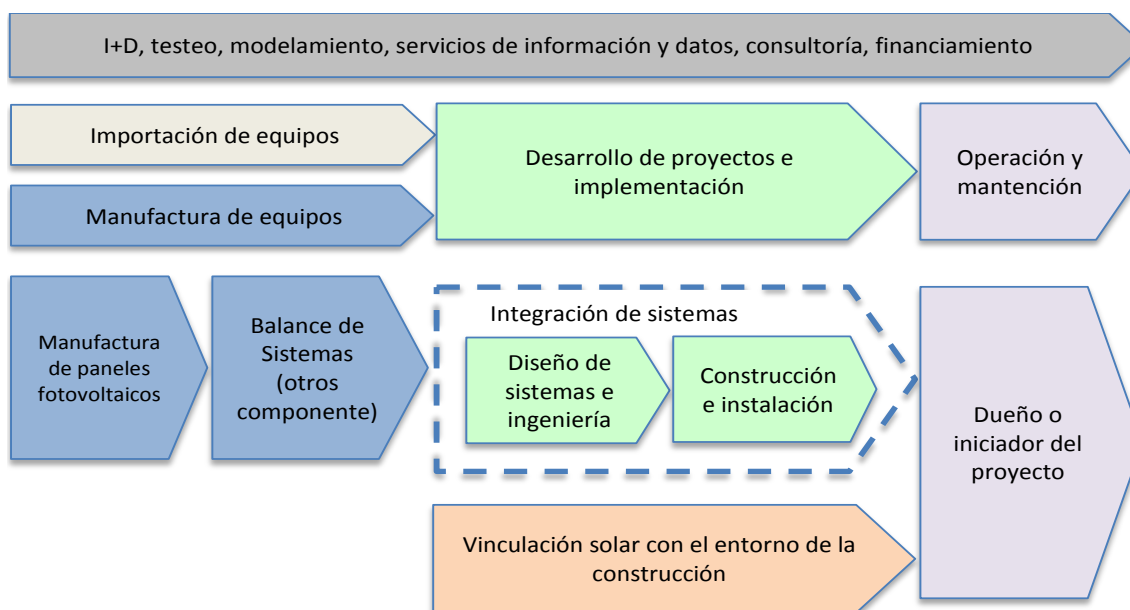
El diagnóstico fue construido en base a información secundaria recabada a partir de internet y entrevistas realizadas a expertos en la región de Antofagasta y la región Metropolitana. Para calificar las oportunidades, amenazas, fortalezas y debilidades en cada ámbito, se realizó un análisis comparado, primero con las otras regiones del país y a nivel internacional, considerando

³⁵ El sistema de evaluación ambiental incluye líneas de transmisión eléctrica de alto voltaje y sus subestaciones y centrales generadoras de energía mayores a 3 MW (GESCAM, 2012).

³⁶ El detalle del análisis se presenta en anexos del presente informe

que el desarrollo del cluster para la industria solar en Chile requerirá relaciones de coordinación y sinérgicas con empresas e instituciones de todo el país y al mismo tiempo, deberá competir en un mercado altamente globalizado.

En la figura siguiente se presenta el sistema de valor para las tecnologías solares a nivel global, identificando las sub-actividades que corresponden a FV, CSP y Térmica.



Otros materiales: vidrios	Estructuras fijas	Mediciones del recurso solar	Servicio logístico y transporte de gran escala	Mantenimiento / Reparación de sistemas central (FV, CSP, Termo)
Otros materiales: metales	Infraestructura gruesa para alojar personal y/o equipos	Evaluación y predicción del recurso solar	Certificación de calidad de productos	Mantenimiento / Reparación de otros equipos eléctricos, electrónicos y mecánicos
Silicio cristalino	Otros elementos eléctricos	Estudios de topografía	Ingeniería de construcción de la planta	Capacitación y entrenamiento del personal
Obleas de silicio	Sistemas de control y monitoreo	Estudio de suelo	Montaje mecánico de precisión	Tramitaciones previas a la puesta en marcha
Celdas de silicio	Sistemas de almacenamiento	Estudio de localización	Instalación de equipos eléctricos y electrónicos	Operación del parque solar e inyección de electricidad
Película fina de silicio	Inversores	Estudios y asesorías ambientales	ITO de obras civiles	
Colectores, receptores	Estructuras de seguimiento	Diseño del parque solar	ITO de obras eléctricas, electrónicas y mecánicas	
Espejos (planos, parabólicos)	Piping	Consultoría MDL	Instalación de obras de conexión	
Fluido de alta temperatura (sales)		Estudios de factibilidad	Tramitaciones para interconexión al SI	
		Estudios y servicios legales		
		Financiamientos y seguros		
		Estudio de conexión		

Figura 29: Descripción sistema de valor industria solar para tecnología FV, CSP y Termo. Fuente: Elaboración propia

Leyenda

Color	Tecnologías
	FV + CSP + Termo
	FV
	FV + CSP
	CSP + Termo

3.2.2 Diagnóstico de oportunidades, amenazas, fortalezas y debilidades del sistema de valor solar de la Región de Antofagasta

En la figura siguiente se representa el sistema de valor y cada una de las cadenas de valor que comprende conceptualmente: i) actividades principales de producción y marketing y ventas, ii) actividades de apoyo de infraestructura de la empresa, iii) finanzas, iv) gestión de recursos humanos, v) tecnología y adquisiciones. Posteriormente, en las subsecciones siguientes, se evalúan las características de cada una de las componentes identificadas en el sistema.

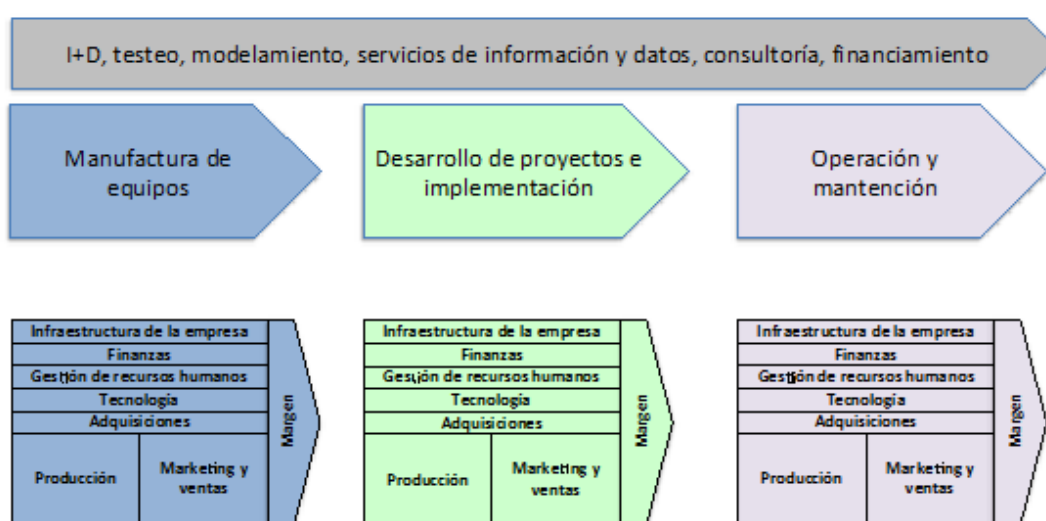


Figura 30: Sistema de Valor Solar. Fuente: Elaboración propia

3.2.2.1 Manufactura de equipos

El segmento de manufactura de equipos ofrece una oportunidad importante asociada al tamaño del mercado de equipamiento, el que ha sido estimado por estudios anteriores en más de USD 14.000 millones al 2015 (CORFO-POCH, 2014). Sin embargo, no es evidente que bajo las condiciones actuales exista la posibilidad de capturar rentas para Chile o Antofagasta en particular, en este segmento mediante manufactura local. Este segmento del mercado es altamente competitivo a nivel internacional y requiere economías de escala importantes.

La inexistencia o bajo desarrollo de una industria instalada con base regional o nacional en relación con la producción de colectores solares, tanto termosolares como fotovoltaicos, así como la alta competencia internacional con grandes economías de escala vuelven poco atractivo el desarrollo de una industria de manufactura nacional por la amplia disponibilidad de equipos importados a precios muy competitivos.

Sin embargo, se visualizan oportunidades para el país y la región en el desarrollo de elementos auxiliares y componentes. Aun cuando no existe una industria ya desarrollada, existe la capacidad en el país que no ha sido explotada por problemas de volumen y garantía. En este momento existe un estudio auspiciado por ISE Fraunhofer para evaluar la posibilidad de fabricar de manera local componentes para plantas fresnel, dentro de los cuales muchos de los elementos son repetitivos, destacando por ejemplo los sistemas de tubería y acumuladores donde ya hay experiencia en el país.

Adicionalmente, en este segmento sí existe una oportunidad asociada al potencial de suministro de materias primas: 1ra Generación, Si cristalino); 2da Generación, ThinFilm a-Si, CdTe, CIGS/CIS y 3ra Generación Orgánico/Tinta Sensible. En este segmento específico de suministro de materias primas existe el potencial de instalación en la región de Antofagasta de empresas internacionales (CORFO-POCH, 2014).

En el ámbito tecnológico, asociado a la manufactura de equipos, existen oportunidades de desarrollo asociados a la generación de información y generación de prototipos para las tecnologías CSP y FV en condiciones de alta radiación y edafoclimáticas características de la región. Estas actividades son parte de los objetivos de la Plataforma Solar y cuentan con condiciones de financiamiento de la mano de instrumentos públicos de fomento tales como Innova de CORFO, FONDEF de CONICYT y FIC regional y la creación de capacidades para la innovación basada en ciencia con financiamiento PMI del MINEDUC.

3.2.2.2 Desarrollo de proyectos e implementación

Se estima que el segmento de desarrollo de proyectos contempla una inversión de USD 19.755 millones al 2025 para la macro zona norte, de los cuales USD 11.783 se localizarían en la región de Antofagasta. Ello permite proyectar a ese año, un mercado de evaluación de USD 395 millones, diseño de USD 1.580 millones, construcción de USD 593 millones y “otros” por USD 2.371 millones (CORFO-POCH, 2014), lo que ofrece una oportunidad para que empresas de ingeniería participen de esta industria desarrollando nuevas líneas de productos o servicios.

En el eslabón de desarrollo e implementación de proyectos en la industria solar, las empresas chilenas que han participado, lo han hecho en su mayoría en alianza con empresas internacionales, en las que el componente tecnológico ha estado en un 100% a cargo del socio externo, mientras que el sistema de ingeniería y desarrollo ha contado con una mayor participación de empresas chilenas. Esta composición se entiende principalmente por temas de garantías, donde la necesidad de disponer de financiamiento y la operación de capitales de riesgo exige un mayor involucramiento de las contrapartes extranjeras que dada su experiencia en el desarrollo e implementación de proyectos entregan mayor confianza a los mercados (opinión de desarrolladores de proyectos entrevistados).

En la medida que pudiese generarse un mayor acceso a financiamiento a nivel nacional y local, es viable aumentar la participación de empresas y profesionales del país y la región en el desarrollo e implementación de proyectos de energía solar. Existe una base de buenos profesionales dentro del campo de la ingeniería en el país que requerirían de especialización para alcanzar una participación más estratégica en esta parte de la cadena de valor.

En la implementación de proyectos, se evidencia una falta de especialistas, que en el desarrollo de los proyectos actuales ha sido satisfecha por mano de obra especializada extranjera, alimentado por la importante participación de empresas internacionales en las inversiones en el sector. En este punto es relevante destacar que nuestra mano de obra, a pesar de ser un país en desarrollo, tiene precios comparables con algunos países del este de Europa, por lo que importar especialistas para el desarrollo e implementación de proyectos de generación eléctrica, es económicamente razonable, en especial si se requiere involucrar mano de obra calificada por periodos acotados de tiempo.

Asociado a la experiencia en el desarrollo e implementación de proyectos, hay empresas de ingeniería ya en Chile que están adquiriendo experticia en proyectos de energía solar térmica de gran escala, destacan los proyectos de energía LLAIMA y ENERMINE. Esta articulación con empresas internacionales y el desarrollo de capacidades a nivel nacional constituye una oportunidad para el desarrollo de la industria puesto que permite generar conocimiento en la industria local y abrir la posibilidad de responder de mejor manera a los requerimientos que impone las condiciones del desierto en el desarrollo de proyectos.

Respecto de proyectos para el sector residencial, comercial y público (CPR), existen brechas de información sobre las oportunidades que ofrecen soluciones térmicas para ACS o fotovoltaicas. No se condice por ejemplo, el potencial solar del país ni de la región de Antofagasta con la penetración de las tecnologías a nivel residencial nacional lo que abre una oportunidad de desarrollo.

En específico, existen requerimientos respecto de la mano de obra calificada para el desarrollo de proyectos que debe ser satisfecha. Entre las amenazas están la seguridad en la disponibilidad oportuna de personal relevante en cantidad suficiente en las siguientes especialidades:

- Meteorólogo.
- Maestro soldador.
- Montaje mecánico en altura.
- Técnico en medición y estimación de recurso ERNC, mano de obra calificada certificada.
- Mano de obra no calificada (con cierto grado de experiencia).

Existen oportunidades para el desarrollo de servicios de:

- Fabricante de tuberías de acero.
- Servicio de movimiento de tierra, obras civiles e instalaciones varias.
- Estudios de interconexión al sistema de transmisión.
- Servicio de instalación de líneas eléctricas, Subestación, Tap-Off, etc.
- Servicio de puesta en marcha, tramitaciones para venta en mercado spot.
- Provisión de insumos y recursos como válvulas, intercambiadores de calor, bombas, transformadores, generadores, controladores, fusibles - protecciones, ferretería eléctrica, software etc.
- Montaje, ingeniería, mantención, inspección técnica de obras.

Estas oportunidades pueden ser aprovechadas por empresas existentes y operando en la región, como por nuevas empresas que deseen instalarse.

En términos tecnológicos, asociado al segmento de desarrollo de proyectos e implementación, existe una debilidad importante asociado a la actividad actual de I+D+i en energía solar en el país, situación que puede verse mejorada a partir de la puesta en marcha de iniciativas como la Plataforma Solar y la operación de centros de excelencia internacional en la región. Existen importantes desafíos de innovación y desarrollo para optimizar la operación de los sistemas y las distintas tecnologías bajo las condiciones edafoclimáticas del norte grande del país, junto con desafíos técnicos e institucionales que deben ser resueltos para garantizar una integración adecuada en el sistema interconectado o soluciones en sistemas aislados que incluyan energía solar.

3.2.2.3 Operación y mantenimiento

El eslabón de operación y mantenimiento asociado a las diferentes tecnologías en energía solar ofrece importantes oportunidades para el país y para Antofagasta en particular.

Los sistemas que utilicen energía solar requieren de respuestas inmediatas y muchas veces situadas en el lugar de localización de los proyectos lo que constituye una importante oportunidad para la región de Antofagasta y el país en general, en especial para las aplicaciones termo solares y de concentración solar que pudiesen satisfacer la demanda de generación eléctrica para el sistema interconectado o la demanda por calor de la industria minera. Por su parte, las aplicaciones fotovoltaicas o termo solares que sirven como soluciones residenciales demandan bajos niveles de mantenimiento, pero aun así ofrecen el potencial de desarrollo de un mercado para pequeñas y medianas empresas.

Para la operación de los sistemas, una amenaza que puede convertirse en oportunidad, es la necesidad de conocer y administrar adecuadamente el impacto asociado a las condiciones climatológicas, de suelo y geográficas del norte del país en combinación de las particularidades

del efecto de la operación minera en los sistemas. Entre los ejemplos están el alto nivel de radiación, la neblina ácida, polvo (chusca), camanchaca y salinidad o alcalinidad del medio.

3.2.2.4 Actividades de formación

El desarrollo de la industria solar en la región, representa una oportunidad para las instituciones de educación superior dada la necesidad de técnicos proyectada en el área. Existe un potencial tanto en la formación de nuevos técnicos como en la reconversión y en la certificación de competencias. Lo que se ve potenciado por la disponibilidad de becas del gobierno (Becas Chile y CONICYT) para la formación de postgrado y técnicos.

Existe la posibilidad de atraer a estudiantes de otras regiones y países con el concepto de que la región cuenta con condiciones para ser un “laboratorio natural para el desarrollo de la industria solar” que ofrece una oportunidad de mercado.

En las Regiones I, II, III, IV y XV, se identificaron un total de 4 instituciones académicas que ofrecen programas relacionados con temáticas ERNC, en los que se encuentran disponibles 2 magísteres, 1 carrera profesional y 5 cursos (POCH Ambiental, 2014 complementado con revisión propia). Esta oferta es insuficiente para satisfacer los requerimientos de la industria, la disponibilidad de cursos y carreras es limitada y su calidad debe ser adecuada y certificada³⁷, más aún, si ninguna de estas carreras se desarrolla en la región de Antofagasta. Para el desarrollo de este segmento de la cadena de valor, es necesario tanto a nivel nacional como regional fortalecer la infraestructura técnica y de docentes especializados en áreas requeridas, junto con fortalecer la disponibilidad de laboratorios para docencia orientadas al dominio de técnicas necesarias para la industria (Entrevistas a UCN y UA).

En este sentido, la “Plataforma Solar del desierto de Atacama”, que se encuentra en desarrollo con la participación de la Universidad de Antofagasta a través del Centro de Desarrollo Energético Antofagasta (CDEA) ofrece una oportunidad importante para fortalecer la formación de capital humano. Entre los posibles cursos a impartir se incluyen:

- Medida y caracterización de radiación solar
- Tecnología fotovoltaica
- Calor industrial de proceso mediante energía solar
- Procesos y tecnologías de desalación solar
- Captadores cilindro-parabólicos
- Sistemas de almacenamiento térmico

³⁷ ver en anexos estimación de la demanda de mano de obra para el desarrollo del clúster

3.2.2.5 Actividades científicas, tecnológicas y de innovación

Para el desarrollo de actividades científicas, tecnológicas y de innovación a nivel nacional existe aún un déficit importante en la disponibilidad de laboratorios, especialistas y complementariedad de la relación industria-academia, situación que se replica en la región de Antofagasta. Las capacidades existentes en la región Metropolitana, VIII y X pueden ayudar a canalizar y potenciar la investigación y el desarrollo de la industria solar en el norte del país en colaboración con las instituciones presentes en la región de Antofagasta (Universidad Católica del Norte, Universidad de Antofagasta).

Las condiciones de radiación y climatológicas de la región de Antofagasta ofrecen la oportunidad de constituir un núcleo de investigación e innovación de clase mundial en el área, considerando las condiciones de “laboratorio natural” que ofrece la región. Para ello es necesario levantar y canalizar el interés de centros de excelencia de nivel internacional de instalarse en la región como el esfuerzo que ya se ha realizado para convocar a ISE Fraunhofer.

Existen grandes espacios de investigación y desarrollo:

- **Información básica:** desde información confiable de radiación solar (y viento con sus ráfagas), hasta problemas de manejo de polvo y efectos ambientales del desierto de Atacama en componentes, estructuras soportantes y de los propios sistemas solares.
- **Ensayos estandarizados:** las excelentes condiciones aseguran el poder disponer de una plataforma de ensayo con al menos 30% más de horas utilizables al año que en los mejores lugares del mundo.
- **Investigación básica:** en materiales, sistemas de acumulación, nuevos procesos y otros.
- **Investigación aplicada:** en procesos mineros metálicos y no metálicos. En modelos de gestión y operación.

3.3 VENTAJAS COMPETITIVAS DE LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA EN MATERIA DE ENERGÍA SOLAR

En este capítulo se analizan y describen las ventajas competitivas de Antofagasta para desarrollar la industria solar en sus tipos de tecnologías y niveles definidos en este estudio. La metodología utilizada considera el análisis de los siguientes aspectos:

- Condiciones de factores
- Condiciones de demanda
- Industrias relacionadas y de soporte
- Estrategia de la firma, estructura y rivalidad
- Gobierno
- Actividades de negocio internacionales
- Casualidad

3.3.1 Condiciones de factores

3.3.1.1 *Mano de obra calificada*

En Antofagasta se dispone de mano de obra de alta calificación vinculada a la industria minera y sus proveedores. En este ámbito se compite fuertemente con la minería, considerando que, por ejemplo, el desarrollo de una central fotovoltaica genera 28 empleos en promedio por cada 1MM USD invertido (CORFO-POCH, 2014). En el caso de la minería, en su conjunto, las empresas de la gran minería y sus contratistas permanentes requerirán contratar un total de 44.256 trabajadores adicionales entre 2012 y 2020, de los cuales 16.065 corresponderán a dotación interna y 28.191 a contratistas. Esto representa un crecimiento de 64% en el número total de trabajadores de la cadena de valor principal de la gran minería, el que aumentará de 69.133 a 113.389 entre 2011 y 2020³⁸. En el caso de la minería del cobre, la producción del año 2012 alcanzó a 5.484.710 tmf y actualmente emplean a alrededor de 50.000 trabajadores de manera directa y cerca de 130.000 de manera indirecta.

El grueso de la mano de obra surge de instituciones locales y hay presencia de mano de obra extranjera de buena calidad³⁹. Sin embargo, los niveles de especialización y dotación son insuficientes lo que demanda la generación de programas de especialización y atracción y retención de expertos que se desenvuelvan en la industria y universidades de la región.

3.3.1.2 *Mano de obra especializada*

En el ámbito específico de la industria solar, la disponibilidad de mano de obra en la región es incipiente. Se considera como amenaza por parte de los actores de la industria solar que la mano de obra calificada que puede ser capacitada por esta industria se transfiera a la minería que ofrece condiciones laborales y niveles de sueldos altos. De esta manera, en los proyectos que se han desarrollado a la fecha, la mayor parte de la mano de obra ha sido casi completamente importada. En la región de Antofagasta no hay oferta de formación técnica o profesional, de pre o post grado relacionadas directamente con recursos renovables⁴⁰. Por lo que se percibe que es necesario fortalecer la formación de RRHH en temas específicos relativos a la energía solar⁴¹.

³⁸ Fuerza laboral en la gran minería chilena diagnóstico y recomendaciones, 2011–2020. Fundación Chile, 2011.

³⁹ Entrevista representante actor privado.

⁴⁰ Oferta académica 2010-2014, Mineduc. <http://www.mifuturo.cl/index.php/bases-de-datos/oferta-academica>

⁴¹ Entrevista representante actor privado.

3.3.1.3 Costo de la mano de obra.

Antofagasta ofrece un alto nivel de remuneraciones. La siguiente tabla entrega una visión general del costo de la mano de obra para las regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta, Atacama y Coquimbo.

Cuadro 13: Promedio ponderado del precio de los servicios para las regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta, Atacama y Coquimbo (CORFO-POCH, 2014).

Servicio	Promedio ponderado del precio de los servicios [UF/HH]
Capacitación	1,67
Construcción obras civiles	1,62
Distribuidor de electricidad	1,72
Ensayo de materiales	1,57
Estudio de suelo	1,84
Estudios ambientales	1,72
Estudios de ingeniería	1,94
Fabricación	1,5
Generación de electricidad	1,8
Instalación	1,6
ITO	1,88
Mantenición	1,51
Medición y estimación de recurso renovable	1,71
Montaje eléctrico	1,68
Montaje mecánico	1,63
Operador de sistema de transmisión	1,24
Perforación de pozos profundos	1,66
Servicios legales	1,73
Suministro	1,58
Topografía y cartografía	1,64
Transporte de grandes equipos y grúas	1,42

Fuente: CORFO-POCH, 2014

Por otro lado, comparativamente entre regiones, las remuneraciones en la región de Antofagasta son las más altas de la zona norte del país. Lo que se traduce en un costo que afecta el desarrollo de proyectos solares.

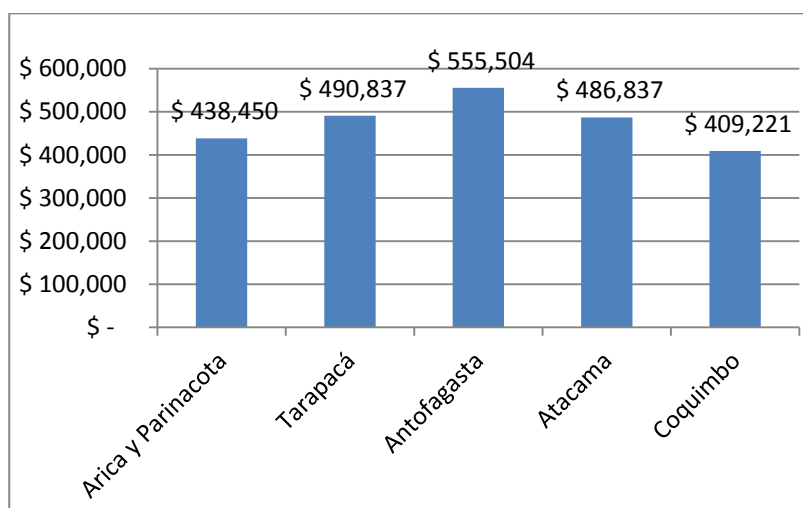


Figura 31: Remuneraciones promedio regional en la zona norte del país. Fuente: (CORFO-POCH, 2014)

3.3.1.4 Capital humano avanzado

La disponibilidad de capital humano avanzado en la región es incipiente. El estado está invirtiendo a través del Ministerio de Educación y programas como Plan de Mejora Institucional (PMI). No hay titulados entre 2012 y 2014 de programas de postgrado en la región de Antofagasta. Universidad de La Frontera (Temuco) ofrece programa de magister en ciencias de recursos naturales y magister en manejo de recursos naturales, de los cuales tiene un egresado por programa entre los años 2012 y 2014⁴². Es necesario disponer de una masa crítica de investigadores en el área (están en creación), lo que demanda inversión pública y privada para el fortalecimiento de los centros de excelencia en la región, junto con la generación de condiciones de hábitat y entorno favorable que permitan volver atractiva Antofagasta como centro de generación de conocimiento de punta y condiciones de lugar para establecerse permanentemente.

El PMI permitió armar un centro del litio. Hay esfuerzos de investigación como el SERC, a partir de un proyecto FONDAP y Fraunhofer (actualmente instalado en Santiago), como parte del programa de atracción de centros de excelencia internacional (política CORFO) que están proyectando su localización en la región de Antofagasta. La Universidad de Antofagasta con su plataforma y la responsabilidad de crear un CFT para la Minería y Energía.

⁴² Titulados 2012 a 2014, MINEDUC. <http://www.mifuturo.cl/index.php/bases-de-datos/titulados>

3.3.1.5 Infraestructura necesaria para competir en el sector

La industria del sector primario y secundario está muy desarrollada en la región, asociadas a la existencia de la industria minera⁴³. Además, la región cuenta con rutas terrestres pavimentadas y no pavimentadas, pasos fronterizos, ferrocarriles de carga, seis puertos, un aeropuerto y un aeródromo, y una localización privilegiada para participar del sistema interconectado de energía eléctrica (SING) que abastece a las regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá y Antofagasta⁴⁴.

Una plataforma de servicios de gran capacidad, con vías férreas y una extensa red de carreteras, permite la transferencia de carga en forma expedita, confiable y oportuna con regiones y países vecinos como Argentina, Bolivia, Brasil, Paraguay y Perú. Es la única Región de Chile con dos pasos internacionales, Jama y Sico, habilitados durante todo el año.

Además, la región dispone de dos aeropuertos, uno en Antofagasta y otro en Calama, para el transporte de carga y pasajeros, con ubicaciones estratégicas para el desarrollo e implementación de tecnología y proyectos de energía solar.

En cuanto a servicios marítimos, la región tiene una capacidad de transferencia y movimiento de carga superior a los 5 millones de toneladas. Existen tres puertos, Antofagasta, Tocopilla y el mega puerto de Mejillones, este último operativo desde octubre de 2003. En promedio, el sistema es capaz de atender naves de hasta 85.000 toneladas de desplazamiento y calados máximos de 16,5 metros. Adicionalmente, existen 7 puertos en la macro zona norte (cuadro siguiente).

Cuadro 14: Puertos en el Norte de Chile

Nombre del Puerto	Comuna
Antofagasta Terminal Internacional	Antofagasta
Iquique Terminal Internacional	Iquique
Puerto Angamos	Mejillones
Puerto Mejillones	Mejillones
Terminal Puerto Arica S.A.	Arica
Terminal Puerto Coquimbo	Coquimbo
Terminal Marítimo Patache	Iquique
Puerto Las Losas	Huasco
Puerto Chañaral	Chañaral

Fuente: Elaboración propia

⁴³ Cluster Minero, <http://www.clusterminero.cl/portal/index.php/cluster-educa/un-poco-de-historia>

⁴⁴ Gobierno regional de Antofagasta, <http://www.goreantofagasta.cl/index.php/historia-region/26-descrip-caract-region/108-infraestructura>

Además, existen cuatro zonas para el emplazamiento de empresas proveedoras de bienes y servicios para la minería y otras actividades industriales; Ciudad Industrial y Empresarial con 331 Ha en Antofagasta, Puerto Seco con 200 Ha, en Calama, el Área de Reserva Portuaria con 1.200 Ha en Mejillones, y la zona franca industrial de Tocopilla de 122 Ha.

En este sentido, la facilidad y cercanía de infraestructura para la importación de tecnología solar y en general de energías renovables, hace atractivo la penetración de nuevos actores a la industria solar, independientemente del sector económico al que vaya dirigido la implementación de los proyectos (Minería, Industria, o CPR).

Sin embargo, existen requerimientos de mejoras en las condiciones de infraestructura y planificación territorial que entreguen condiciones adecuadas para la operación de la industria, en específico para actividades de logística que pueden ser una oportunidad de negocios dentro de la industria solar para la región. El tránsito de camiones se mantiene por el eje de la ciudad y la localización de empresas puede ser mejorada e integrada de mejor manera a la planificación de desarrollo urbano de Antofagasta.

Las mejoras en temas de infraestructura para la competitividad son estratégicas para fortalecer las oportunidades asociados al montaje y la logística de proyectos de generación solar, que constituye un nicho importante de negocios para la región de Antofagasta.

3.3.1.6 Infraestructura de servicios sociales básicos (hospitales, parques, colegios, otros).

En la región de Antofagasta existen 5 hospitales, 23 consultorios, 12 postas rurales, 232 colegios, de los cuales 125 son municipales, 65 son particulares subvencionados y 42 son particulares⁴⁵. De acuerdo al Índice de Calidad de Vida Urbana 2014, la ciudad se encuentra en el promedio nacional.

⁴⁵ Educarchile, <http://www.educarchile.cl/ech/pro/app/detalle?ID=130256>

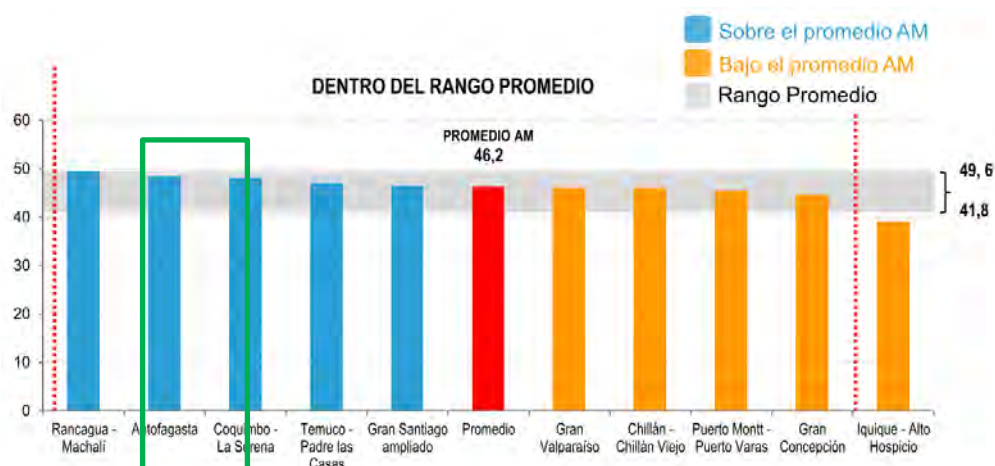


Figura 32: Índice de Calidad de Vida Urbana 2014. Fuente: CCHC, 2014

3.3.1.7 Recursos naturales y físicos

La región de Antofagasta ofrece condiciones naturales y físicas privilegiadas por la alta radiación, baja nubosidad y temperatura ambiente variable dentro de un rango amplio, que varía de acuerdo a la altura (existen diferencias de la ventaja que significa la temperatura para las diversas tecnologías solares). Pero al mismo tiempo enfrenta problemas asociados a la escasez de recursos hídricos que es relevante para la operación de la industria.

En términos cuantitativos la radiación solar de la región de Antofagasta es la más alta dentro de las regiones del norte de Chile. La estimación del potencial tanto para tecnología fotovoltaica como para CSP es alto.

Cuadro 15: Potencial solar-FV estimado (superficie y capacidad instalable) para configuraciones FV fija y con seguimiento en un eje y potencial solar-CSP disponible estimada

Región	Potencial solar FV				Potencial solar CSP	
	Arreglo fijo		Arreglo con seguimiento		Superficie [Ha]	Capacidad [MW]
	Superficie [Ha]	Capacidad [MW]	Superficie [Ha]	Capacidad [MW]		
Arica y Parinacota	104.015	20.803	205.024	41.005	25.242	6.311
Tarapacá	309.163	61.833	1.055.670	211.136	544.339	136.085
Antofagasta	4.995.313	999.063	6.003.064	1.200.613	1.579.472	394.868
Atacama	769.467	153.893	920.363	184.073	62.427	15.607
Coquimbo	11.442	2.288	16.201	3.240		
Valparaíso	117	23	319	64		
Total	6.189.517	1.237.903	8.200.641	1.640.128	2.211.480	552.871

Fuente: GIZ-MinEnergía, 2014

Características como el efecto de la cercanía al mar en la corrosión de los materiales, el impacto del polvo asociado al desierto y las operaciones mineras, factores como la camanchaca y la sismicidad de la región en la operación y desarrollo de proyectos no están del todo modelados y es necesario disponer de información específica para adaptar el desarrollo de proyectos y optimizar la operación de los sistemas.

3.3.1.8 Localización relativa

La Región de Antofagasta ofrece una localización relativa que entrega ventajas competitivas para el desarrollo de la industria: i) se ubica en el inicio del SING, ii) en la cercanía de proyectos mineros que demandan altos niveles de energía para generación eléctrica y calor, ii) limita con Bolivia y Argentina lo que ofrece una oportunidad para la exportación de energía⁴⁶.

Si se piensa en el norte de Chile, con la gran cantidad de actividad minera, es evidente que se deben aprovechar las oportunidades para ir integrando la energía solar a diversos procesos. Solo a modo de ejemplo:

- Generación de calor para electroobtención: es algo que ya se está iniciando, pero aún falta mucho para optimizar y seguir bajando costos.
- Generación de calor para aportar a pilas de lixiviación. Se sabe que si se calientan las soluciones de refinación, se puede acelerar la producción de cobre y mejorar la recuperación de los minerales. Aún existe un enorme espacio de investigación en este ámbito.
- Aporte de calor en minería no metálica. Toda el área de producción de salitre, yodo y litio tiene potencial de aplicación.
- Utilizar cogeneración solar. Básicamente significa usar generación Termosolar.
- Incorporación en gran escala de sistemas FV. Problemas asociados a estabilidad de red y mejoras de sistema.

3.3.1.9 Recursos de conocimiento (universidades, centros de I+D, otros).

La región de Antofagasta cuenta con 2 Universidades acreditadas y un CFT no acreditado⁴⁷. Colegio Salesiano Don Bosco ofrece formación técnica en enseñanza media⁴⁸. La falta de este tipo de instituciones puede ser vista como un potencial o como una debilidad en la formación técnica. La minería suple esta brecha a partir de la asesoría técnico - pedagógica.

Por otra parte la región de Antofagasta es foco de interés para centros de investigación como el Centro de Desarrollo Energético Antofagasta (CDEA), de la Universidad de Antofagasta⁴⁹, el

⁴⁶ Gobierno Regional de Antofagasta, <http://www.goreantofagasta.cl/index.php/historia-region>

⁴⁷ Base de datos de instituciones vigentes julio 2014, www.mifuturo.cl

⁴⁸ Entrevistas representante actores privados.

⁴⁹ <http://www.uantof.cl/cdea/>

Centro de investigación avanzada del litio y minerales industriales (Celimin)⁵⁰, Fraunhofer, LABORELEC y CSIRO y se proyecta el desarrollo de la Plataforma Solar que convoca a diferentes instituciones académicas a nivel nacional y que espera proporcionar las condiciones necesarias para responder a los desafíos de innovación y desarrollo de la industria solar.

3.3.1.10 Recursos financieros y costo de capital

Entre los años 2001 y 2013 se cuentan 97 proyectos de energía solar a nivel nacional, con un costo total de 35.332,938 MM\$, de los cuáles 18.748,825 MM\$ son de aporte público, 2.431,654 MM\$ de aporte privado y 14.152,460 MM\$ de aporte extranjero.

Las fuentes de ingreso público más recurrentes son CORFO, CONICYT, FIC-R, Ministerio de Energía, Subsecretaría de Energía, FNDR, otros fondos públicos (SERC, 2014 y CORFO-POCH, 2014).

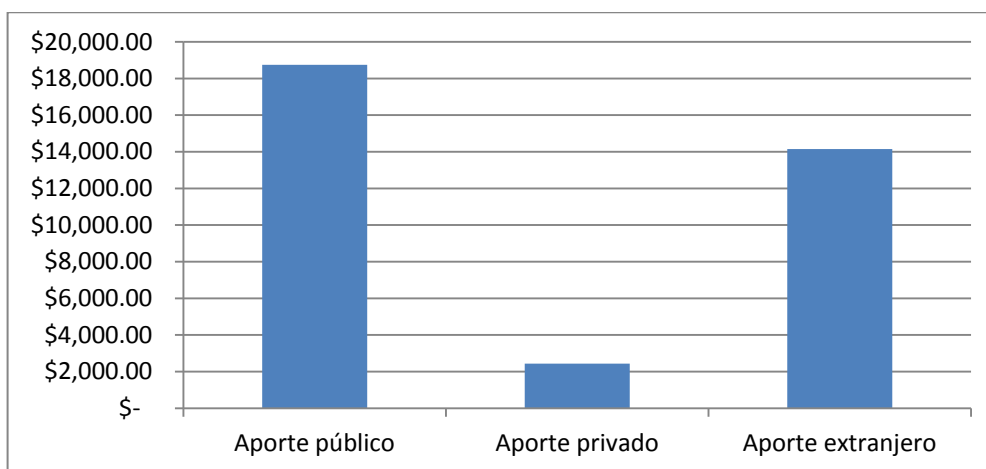


Figura 33: Aporte financiero a proyectos I+D solares a nivel nacional entre los años 2001 y 2013. Fuente: (SERC, 2014)

La disponibilidad de recursos está localizada en la Región Metropolitana donde se ubican las instituciones financieras y públicas con la mayor dotación de recursos. Sin embargo, la región cuenta con recursos del FNDR y FIC regional que podrían ser canalizados al desarrollo de la industria.

3.3.1.11 Instituciones (Capital social)

La existencia de dos universidades que tienen actividades y capacidades de investigación crecientes en el área son una oportunidad para la región, sin embargo, existe un desafío importante de fortalecimiento institucional y conformación de un tejido social que propicie la colaboración en la industria para la conformación de un cluster solar.

⁵⁰ <http://www.celimin.com/#!lineas-de-trabajo/c1d6t>

La Plataforma Solar que espera aunar instituciones académicas y empresas para colaborar en la innovación y desarrollo de la industria constituye una oportunidad muy importante para el desarrollo del cluster. Sin embargo, se mantiene pendiente el desafío de conformar una institucionalidad adecuada e identificar actores que puedan facilitar la conformación de un hábitat propicio para la generación de conversaciones productivas y dinámicas de cooperación y que al mismo tiempo identifiquen brechas y necesidades y generen soluciones .

3.3.2 Condiciones de demanda

A partir de los datos presentados anteriormente sobre la demanda en electricidad y calor a nivel nacional e internacional, se puede construir y definir el atractivo de este negocio para cada sector en relación a las condiciones de demanda.

Existe actualmente una gran demanda de energía térmica y eléctrica vinculada principalmente al sector minero. A continuación se observa esta distribución, y la oportunidad que existe para el suministro de energía térmica y eléctrica para esta industria. Para el caso de la minería, la demanda de electricidad para el año 2013 corresponde a 14.211 GWh equivalente al 84% de la demanda de la región. Esta demanda tiene una fuerte tasa de crecimiento estimada en 4.55% anualmente, lo que significa un sólido crecimiento sin mayores incertidumbres del sector. En el caso de la energía térmica, este sector demanda actualmente 14.183 GWh térmicos que representan el 87% de la demanda de la región, con una tasa de crecimiento estimada del 3.77%. Si bien la tasa de crecimiento es menor que la tasa de crecimiento de electricidad para este sector, es un valor que representa un sólido crecimiento y por lo tanto una clara oportunidad para nuevos participantes en la industria de abastecimiento de estos insumos con fuentes renovables.

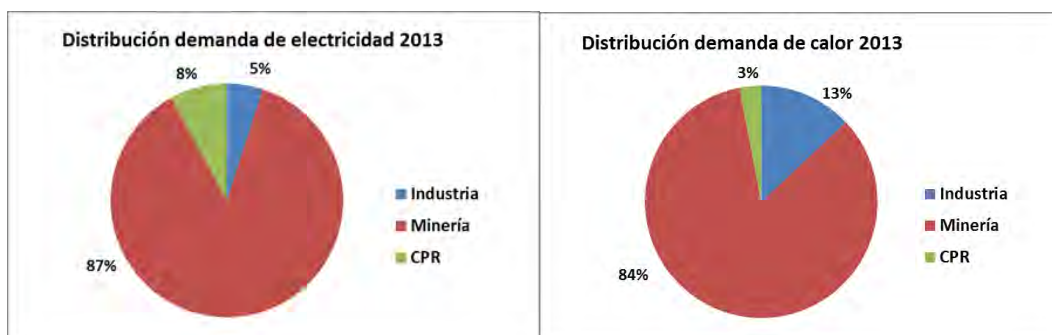


Figura 34: Distribución de demanda de electricidad y calor sector Industria y minería 2013
Fuente: elaboración propia en base a datos MAPS Chile, 2014.

La planificación a mediano y largo plazo y los sólidos proyectos de inversión que realiza la minería contribuye con generar pocas incertidumbres en cuanto a los requerimientos y plazos de inversión para el desarrollo de proyectos solares. Esto hace que las inversiones de energía solar y en general de ERNC sean más rentables a largo plazo y no disminuyan los riesgos económicos a la hora de abordar un suministro de energía para este sector.

Sin embargo el mercado de la minería es un sector bastante concentrado y actualmente hay pocas empresas mineras en la región, entre las más grandes, Anglo American, Antofagasta Minerals, Barrick, BHP Billiton, Codelco, Collahuasi, entre otros. Este hecho hace que el poder de negociación o el poder de mercado sea una posible barrera para la entrada de nuevos competidores y nuevos actores en el mercado de la energía solar a pequeña escala y para el desarrollo de aplicaciones específicas. Además, no hay incentivos para que estos actores de la gran industria minera incorporen en sus procesos de producción tecnologías renovables para el suministro de energía, en particular tecnologías solares.

Por último, para el caso de CPR, se tiene un mercado totalmente desconcentrado, con múltiples actores con un patrón de consumo menor, que alcanzan consumos térmicos y eléctricos de 507 GWh y 1.307 GWh respectivamente, con crecimientos anuales de 3.63% y 5.28% respectivamente. Este sector, aunque tenga una menor participación del mercado en términos de demanda energética, tiene una tendencia de crecimiento sólida y atractiva, para entrantes pequeños de la industria solar. La ventaja de este sector, es que el tamaño de los actores que representa a este grupo es pequeño, y por lo tanto la entrada de pequeños agentes en la industria solar está asociada al concepto de generación distribuida, en la que pequeños consumidores pueden ser los actores que cumplan el rol de pequeños generadores y puedan ser autosuficientes. Esto representa una oportunidad para nuevos agentes en la industria solar que se especialicen en aplicaciones de pequeño-mediano tamaño.

Una desventaja particular para la industria solar enfocada en el sector de la minería, es su disponibilidad o factor de planta, que representa la cantidad de horas equivalente a la que ésta pueda despachar su potencia nominal. Los procesos de la minería necesitan energía eléctrica continuamente, sin embargo la mayoría de las tecnologías solares operan durante las horas de Sol por lo que representa un suministro de energía intermitente. Esta barrera de entrada es un factor clave en la calidad de suministro que exigen las grandes mineras, sin embargo la aplicación de tecnologías solares para determinados procesos o aplicaciones que actúen de forma complementaria durante algunas horas del día y no como energía base, puede significar un potencial para el desarrollo de la industria solar.

3.3.3 Industrias relacionadas y de soporte

En el estudio de CORFO (2014) acerca de los proveedores de servicios conexos a las ERNC se identificaron una serie de servicios y oportunidades de negocio para la industria ERNC en Antofagasta, las que son resumidas en el siguiente cuadro.

Cuadro 16: Identificación de servicios y oportunidades de negocio para la industria ERNC en Antofagasta

Servicios a las ERNC ubicados en Antofagasta	Tecnología		
	Solar	Eólica	Geotermia
Montaje, ingeniería, mantención, ITO	X	X	X
Servicio de perforación de pozos profundos			X
Movimiento de tierra, obras civiles e instalaciones varias	X	X	X
Fabricante de tuberías de acero, válvulas, intercambiadores, Bombas, etc.			X
Fabricante de tuberías de transformadores, generadores, controladores, fusibles -protecciones, ferretería eléctrica, etc.	X	X	X
Desarrollador de software	X	X	X
Capacitación	X	X	X

Oportunidades de Negocios en Antofagasta	Tecnología		
	Solar	Eólica	Geotermia
Sondaje, exploración, servicio de perforación de pozos profundos			X
Estudios de interconexión al sistema de transmisión	X	X	X
Suministro de materias primas: 1ra Gen (Si cristalino); 2da Gen (Thin Film a-Si, Cd Te, CIGS/CIS); 3ra Gen (Orgánico / Tinta Sensible)	X		
Fabricante de torres de medición y/o torre de montaje		X	
Fabricante de tuberías de acero, bombas de lodos de perforación, válvulas de boca de pozo, etc.			X
Desarrollador de software para operación y/o automatización de plantas	X	X	X
Laboratorios de prueba de tecnologías FV	X		
Servicio de instalación de líneas eléctricas, subestación, Tap-Off, etc.	X	X	X
Servicio de puesta en marcha de plantas	X	X	X
Tramitaciones para venta en mercado spot	X	X	X
Mantención de equipos eléctricos, electrónicos y mecánicos, calibración de equipos especializados	X	X	X
Estudios ambientales	X	X	X
Prospección geológica, geofísica y geoquímica			X
Servicios de laboratorio de agua, suelo y materiales	X	X	X
Due Dilligence	X	X	X
Estudios de prospección del recurso	X	X	X
Cartografía	X	X	X

Fuente: CORFO 2, 2014

Las principales ventajas competitivas de las industrias proveedoras localizadas en Antofagasta tienen que ver con el hecho que se dispone de un buen contingente de empresas del área de la construcción, que pueden ser importantes en las aplicaciones residenciales de la tecnología y en el apoyo al desarrollo de proyectos de mayor escala. También se encuentra un conjunto de empresas proveedoras de servicios asociados al desarrollo e implementación de proyectos que están capacitadas para asumir este rol complementario. De acuerdo al estudio CORFO (2014), existen empresas proveedoras y de servicios que estarían dispuestas a instalarse en Antofagasta para apoyar el desarrollo de la industria.

Las principales ventajas competitivas de las industrias relacionadas localizadas en Antofagasta, correspondientes a empresas de ingeniería es que disponen de capacidades genéricas y específicas que pueden ser usadas en la industria solar. Muchas de estas empresas prestan servicios a la minería, por lo que tienen altos estándares de calidad y son capaces de responder a requerimientos especializados, como los que podría presentar la industria solar.

Una desventaja que podría existir, de acuerdo a la información recabada en las entrevistas con los empresarios mineros y de la industria solar, es la alta influencia que la industria minera ejerce sobre sus proveedores, por lo que habría alguna dificultad en reconvertir o diversificar sus servicios hacia otras industrias.

3.3.4 Rivalidad

En cuanto a la rivalidad de los competidores, el análisis se puede subdividir en diferentes subsectores, el sector de las empresas de servicios y productos asociados a la implementación de proyectos de energía solar que representan los proveedores de soluciones solares, el sector de servicios de implementación de pequeñas o medianas aplicaciones en la industria solar, y el sector de grandes plantas de generación de energía solar de diferentes tipos de tecnologías.

En cuanto al primer subsector de servicios asociados a los servicios conexos y relacionados con la industria solar en la región de Antofagasta, se cuenta con 40 empresas en total que ofrecen servicios de planificación y factibilidad, construcción y equipamiento, y operación y mantención.

En cuanto al segundo subsector de servicios de implementación y ejecución de tecnologías solares, se cuenta con un mercado más reducido e incipiente, ya que existen sólo 3 empresas en este ámbito, ECOCREA, OK ENERGY, y VITASOL CALAMA (CER, 2014). De estos competidores, el primero sólo ofrece soluciones en energía fotovoltaica, mientras que los demás ofrecen soluciones tanto fotovoltaicas como solar térmicas para pequeñas o medianas aplicaciones o instalaciones. En cuanto a la tecnología de concentración solar no se cuentan con empresas de pequeña escala que realicen estos servicios ya que la tecnología es factible para aplicaciones mayores, resultando inviable económicamente para proyectos pequeños.

Por último, en el sector de la generación eléctrica a gran escala se encuentran sólo 2 proyectos en operación, los proyectos Santa Cecilia de 3MW y Calama 3 de 1MW son de tecnología fotovoltaica. Adicionalmente, se encuentran 6 proyectos en construcción y 30 proyectos aprobados en la región (Base de datos CER-SEA-CDEEC's, 2014)⁵¹.

Bajo este escenario, en cada una de estos subsectores, se presenta una diferente rivalidad entre los competidores de nicho de mercado específico. En el caso del subsector de servicios conexos, existe un alto grado de rivalidad ya que son bastantes más actores con respecto a su próximo agente en la cadena de valor, esto hace que el poder de negociación entre los primeros y los segundos sea más atractivos para los últimos, pudiendo optar a mejores ofertas producto de la rivalidad de la competencias de los primeros.

Bajo esta misma línea, el nicho de mercado para pequeños y medianos actores que ofrecen soluciones de energía solar representa un atractivo, ya que al haber un número tan reducido de actores, gozan de un mercado con poca competencia pudiendo optar a beneficios y márgenes atractivos por cada proyecto de ejecución que implementan, en este sentido, la rivalidad entre los competidores es baja y fomenta la creación de más actores en esta línea de negocio, reduciendo la barrera de entrada de nuevos actores a este nicho de mercado.

Por último, para los proyectos de gran escala para la producción de energía eléctrica, actualmente existen bastantes proyectos en carpeta que están aprobados por el Sistema de evaluación ambiental, sin embargo, la principal barrera de entrada para nuevos actores y que finalmente se implementen los proyectos de ingeniería, es conseguir los contratos de suministro de energía el cual fije los precios de la energía para reducir la incertidumbre económica de los propietarios de los proyectos de generación a largo plazo.

3.3.5 Creación de nuevos negocios

Los proyectos de gran escala (FV y CSP) tienen altas tasas de inversión, por lo enfrentan una barrera de entrada importante. Sin embargo, de acuerdo a las estadísticas del CER y la CBC, existe una creciente tasa de proyectos en etapas de construcción o ingeniería de detalles que se encuentran en trámite o desarrollo.

Con respecto a la dinámica de creación de nuevos negocios, asociada a nuevos proyectos, de acuerdo a las entrevistas sostenidas, se constata que no sólo se crean nuevas empresas, sino que también se generan nuevos negocios en empresas existentes.

⁵¹<https://www.google.com/fusiontables/DataSource?docid=1QUHzn0Ve2yFSQ5sSKGpO21jCGq5K6EnUPXpJHq09#rows:id=1>

Por otra parte, se aprecia una importante promoción del emprendimiento en la región, principalmente en empresas PYMES, dada la influencia de una serie de iniciativas relacionadas con los servicios a la minería, incluido el Programa de Desarrollo de Proveedores de la minería.

3.3.6 Gobierno y regulación

Existe un esfuerzo de promoción de las ERNC por parte del Gobierno a nivel nacional, donde destaca lo definido en la Agenda de energía 2014, el programa de selectividad estratégica de CORFO, la ley de renovables 20/25 y nuevos programas de promoción, tales como la extensión de la franquicia tributaria para la instalación residencial de colectores solares, que operó entre 2010 y 2013⁵² y la promoción de edificios públicos solares (programa TSP).

Sin embargo a nivel regional no existen iniciativas específicas para la promoción de la industria solar, lo que constituye una oportunidad perdida en la posibilidad de consolidar un cluster de clase mundial en Antofagasta.

3.3.7 Casualidad/localización

La localización de la región de Antofagasta, entrega ventajas competitivas para el desarrollo de la industria: i) se ubica en el inicio del SING, ii) en la cercanía de proyectos mineros que demandan altos niveles de energía para generación eléctrica y calor, ii) limita con Bolivia y Argentina lo que ofrece una oportunidad para la exportación de energía⁵³.

3.3.8 Actividades internacionales de negocios

La región de Antofagasta posee una alta actividad internacional de negocios e inversión extranjera, debido principalmente a la minería y otras industrias de importancia en la zona. Ello además influye en la existencia de capacidad de gestión internacional de negocios, apoyada por servicios que la sustentan.

3.4 ANÁLISIS RESUMIDO DEL ATRACTIVO DE ANTOFAGASTA PARA EL DESARROLLO DE UN CLUSTER SOLAR

De acuerdo a la metodología del diamante de Porter se ha llevado a cabo el diagnóstico del atractivo de Antofagasta para el desarrollo de un cluster solar. En la figura siguiente se presenta de manera esquemática el análisis y los resultados de la evaluación.

⁵² Para mayores antecedentes revisar análisis del macroambiente de negocios

⁵³ Gobierno Regional de Antofagasta, <http://www.goreantofagasta.cl/index.php/historia-region>

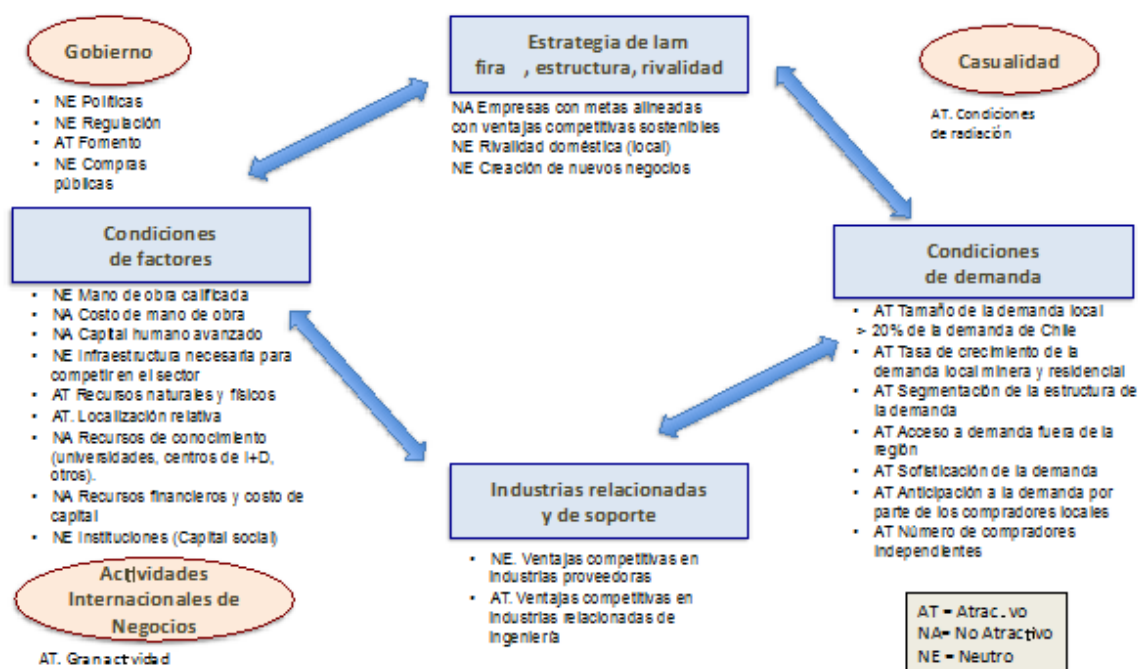


Figura 35: Esquema del diamante de Porter. Atractivo de la región de Antofagasta para la industria solar. Fuente: Elaboración propia basado en Porter (1990)

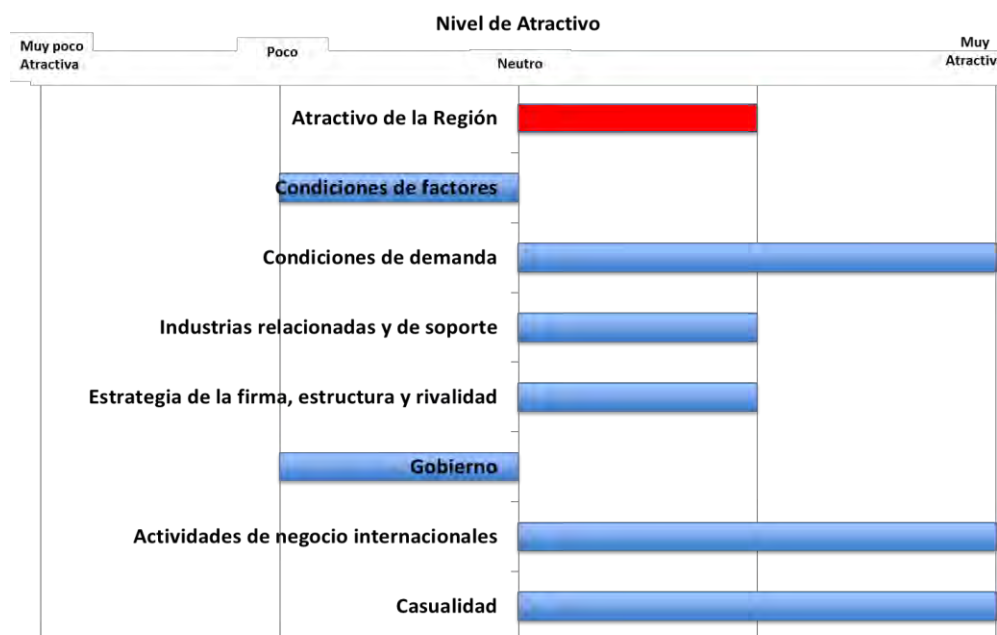


Figura 36: Atractivo de la Región de Antofagasta para el desarrollo del cluster solar. Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en la figura anterior y en el cuadro siguiente, la evaluación de la región para el desarrollo de la industria solar es “Atractivo”. Ello se debe principalmente a las condiciones de demanda, actividades de negocio internacionales y casualidad. En cambio, las condiciones de factores y el gobierno entregan una evaluación parcial “poco atractiva”.

Cuadro 17: Evaluación general del atractivo de la región para el desarrollo de un cluster solar

(Muy poco atractiva= -2, Poco atractiva= -1, Neutra= 0, Atractiva= 1, Muy atractiva= 2)

Atractivo de la Región	1.0
Condiciones de factores	-1.0
Condiciones de demanda	2.0
Industrias relacionadas y de soporte	1.0
Estrategia de la firma, estructura y rivalidad	1.0
Gobierno	-1.0
Actividades de negocio internacionales	2.0
Casualidad	2.0

Fuente: Elaboración propia

3.5 BRECHAS PARA EL DESARROLLO DE UN CLUSTER SOLAR EN LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA.

Las barreras asociadas al desarrollo de un cluster solar para su implementación de manera exitosa se relacionan estrechamente con las debilidades y amenazas analizadas en el diagnóstico del sistema de valor de la industria y las ventajas competitivas de la región. Después de identificadas las barreras que afectan un adecuado despliegue de la industria a nivel nacional, es importante responder qué brechas deben cerrarse para desarrollar un cluster solar en la región de Antofagasta lo que significa alcanzar altos niveles de concentración de empresas e instituciones de la industria solar localizadas en la región y capturar la mayor proporción posible de valor generada por la industria para propender al desarrollo social y económico de Antofagasta.

En esta línea se han identificado brechas en 6 áreas estratégicas:

1. Brechas para el **desarrollo de mercado** donde la región tenga ventajas competitivas
2. Brechas para el **desarrollo industrial en la región**, es decir para facilitar la localización en Antofagasta de empresas existentes y de nuevas empresas que participen en la cadena de valor
3. Brechas para potenciar **la ciencia tecnología e innovación para la competitividad** en la región de Antofagasta, de tal forma de propender a una relación virtuosa entre las empresas de la industria y la generación de conocimiento a nivel local.

4. Brechas para disponer del **capital humano** necesario para el desarrollo de la industria, de tal forma de capturar la mayor proporción de valor generado en la industria, ya sea por la conformación de una masa crítica de personas que potencia la calidad de las conversaciones y soluciones en la región, como el aumento de los ingresos económicos entre personas que viven en la región para fortalecer la economía local
5. Brechas para disponer de un **entorno favorable** para el desarrollo de la industria. El desarrollo de las industrias en muchas ocasiones, no depende tan solo de la solución de problemas de mercado, sino también de condiciones del entorno social, institucional y ambiental que afectan la toma de decisiones de los agentes. La solución de problemas del entorno y la generación de habilitadores para la actividad económica son estratégicos para el desarrollo de la industria y de un cluster en particular.
6. Brechas para contar con una **institucionalidad** adecuada para potenciar la competitividad del cluster. Los problemas de coordinación que afectan al desarrollo de la industria requieren de respuesta más allá de mecanismos de mercado, que incluyan la generación de oportunidades y condiciones para facilitar la colaboración entre los agentes que participan de una industria y del cluster en particular.

Brechas para el desarrollo de mercados.

- Poca difusión y conocimiento de la tecnología en ciertos nichos de mercado, en donde se pueden desarrollar actores asociados a la cadena de valor de la industria solar para captura valor (minería, astronomía, turismo, soluciones residenciales)
- Poco desarrollo de la adquisición de tecnología solar para la infraestructura asociada a municipalidad e institución gubernamentales de la región.
- Poco desarrollo de proyectos que propendan a la autonomía energética de poblaciones aisladas en la región.
- Falta de exploración de soluciones para acceder a mercados extranjeros donde se podría capturar valor con exportación de servicios o equipos.

Brechas para el desarrollo industrial.

- Poco dinamismo y desarrollo de la industria conexas para la fabricación de componentes y montajes para las condiciones de la zona.
- Poco desarrollo de una industria de certificación de instalaciones y de productos/servicios dentro de los sistemas de valor de la industria solar.
- Desconocimiento y poca vinculación del sector financiero a proyectos solares y renovables en general.

Brechas para el desarrollo de la ciencia, tecnología e innovación en la región.

- Falta de información básica que afecta el desarrollo de proyectos en la región desde datos confiables de radiación solar (y viento con sus ráfagas), hasta problemas de manejo de polvo y efectos ambientales del desierto de Atacama en partes, componentes y sistemas solares.
- Falta de ensayos estandarizados: las excelentes condiciones aseguran el poder disponer de una plataforma de ensayo con al menos 30% más de horas utilizables al año que en los mejores lugares del mundo.
- Necesidad de fortalecer la investigación básica: en materiales, sistemas de acumulación, nuevos procesos y otros, de acuerdo a la demanda esperada
- Falta de desarrollo de mecanismos para articular la industria con la academia en la generación de soluciones para la manufactura, desarrollo, implementación, operación y mantención de sistemas bajo las condiciones edafoclimáticas del norte grande.
- Falta de una masa crítica de investigadores y centros de investigación con las competencias requeridas para responder a los desafíos que enfrenta la industria

Brechas para el fortalecimiento del capital humano en la región.

- **Plantas termosolares:**
 - Oferta insuficiente de profesionales con las competencias necesarias para los requerimientos futuros de construcción de plantas, en particular termosolar, (obras civiles, equipamientos electromecánicos, montaje, soldadura)
- **Soluciones de calor a pequeña escala, ACS y energía fotovoltaica:**
 - Oferta insuficiente de capital humano especializado para el desarrollo esperado de proyectos, instalación y mantención, entre ellos:
 - ✓ ingenieros especializados en energía solar
 - ✓ arquitectos capaces de integrar soluciones de calefacción o ACS en la planificación de nuevas viviendas o edificios
 - ✓ instaladores con competencias técnicas y que cuenten con una certificación adecuada y técnicos de mantención con las mismas características.
- Disponibilidad limitada de cursos en especialidades, así como la capacidad en infraestructura técnica para la demanda esperada
- Disponibilidad limitada de docentes especializados en áreas requeridas para la demanda esperada

Brechas para el desarrollo de un entorno favorable a la industria solar.

- Incipiente desarrollo del capital humano de calidad para el crecimiento y la captura de valor de la industria solar.
- El índice asociado a la infraestructura de las viviendas y al entorno de la región, se encuentra por debajo del promedio nacional y se requiere apoyar su mejoramiento para atraer organizaciones y capital humano de clase mundial.
- El índice asociado a las condiciones socio-culturales de la región, se encuentra por debajo del promedio nacional y se requiere apoyar su mejoramiento para atraer organizaciones y capital humano de clase mundial.
- La infraestructura pública en la región es insuficiente para responder a las necesidades asociadas al desarrollo de una industria que se centre en aspectos de logística, ensamblaje y gestión de proyectos solares a gran escala
- Falta de integración en la planificación territorial de la región de soluciones para la integración adecuada de las actividades productivas a la dinámica de la ciudad de Antofagasta

Brechas para la generación de una institucionalidad para la competitividad.

- Falta de coordinación pública para la generación de información de base: estudios de radiación y condiciones edafoclimáticas, Información de terrenos fiscales: coordinación Bienes Nacionales y SII con información geo referenciada para la localización de proyectos
- Falta de instituciones de certificación de competencias profesionales y técnicas, de equipamiento e instalaciones que respondan a la demanda futura esperada
- Problemas en la evaluación y aprobación de proyectos por falta de información sobre proyectos solares en las instituciones públicas que intervienen (Ministerios, CONAF, Consejo de Monumentos Nacionales, Municipios)
- Oportunidad de mejora de la coordinación para la identificación de barreras institucionales y normativas a lo largo de las etapas de formación, desarrollo y consolidación del cluster de la industria.

4 PROPUESTA PARA EL DESARROLLO DE UN CLUSTER DE ENERGÍA SOLAR EN LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA

4.1 METODOLOGÍA PARA LA DEFINICIÓN DE LA ESTRATEGIA

La estrategia para el desarrollo de un cluster solar se ha elaborado aplicando los siguientes pasos metodológicos, que incluyen la generación de antecedentes a partir de fuentes primarias y secundarias.

El trabajo desarrollado se articula en la siguiente lógica:

- 1. Identificación y análisis de las principales tendencias de la industria**
 - a. Diagnóstico a nivel global, nacional y regional de las principales tendencias de la industria solar
- 2. Estimación de la demanda potencial del mercado de la industria solar**
 - a. Estimación de la demanda por generación eléctrica y calor a nivel nacional e internacional
- 3. Aplicación de la metodología de análisis de cluster**
 - a. Análisis del macro ambiente de negocios
 - b. Análisis sistema de valor de la industria en sus diferentes aplicaciones tecnológicas
 - c. Identificación de ventajas competitivas de la región de Antofagasta
 - d. Análisis de barreras a la industria e identificación de brechas a nivel regional para el desarrollo del cluster
- 4. Benchmarking**
 - a. Lecciones aprendidas a partir de la experiencia de cluster internacionales
- 5. Presentación de una propuesta de estrategia para el desarrollo de un cluster solar en la región de Antofagasta.**

La propuesta de estrategia para el desarrollo del cluster solar busca cumplir con los siguientes objetivos:

- **Maximizar la generación y captura de valor en la industria solar en la región de Antofagasta**

- **Identificar y promover modelos de negocios que pueden potenciar la agregación y captura de valor en la región.**

En esta línea, la propuesta para el desarrollo de un cluster solar en la región de Antofagasta debe concebirse como una estrategia de desarrollo industrial traccionada por la demanda y habilitada por las condiciones de irradiación excepcionales de la región de Antofagasta.

Como antecedente central para su formulación están:

- La oportunidad de localizar **proyectos de gran escala** que alimenten con generación eléctrica a partir de energía solar el SING y eventualmente el país a partir de la interconexión del sistema.
- La proyección estratégica de crecimiento de la demanda por calor y electricidad vinculado al **desarrollo minero y de industrias asociadas** en la región norte del país.
- El potencial crecimiento del **consumo de energía de la población y proyectos de ciudades solares** con eslabonamientos hacia atrás a la industria proveedora de servicios de desarrollo e instalación y la importación o eventual manufactura de equipos.
- La oportunidad de conformar Antofagasta como un **polo exportador** de energía a los países limítrofes.
- La oportunidad de que existen **instrumentos públicos de financiamiento** para ciencia y tecnología, mejoramiento de capacidades de formación y capacitación en la región, para desarrollar prototipos y proyectos demostrativos entre otros. Todos temas críticos para el fortalecimiento del cluster.

De esta forma, una propuesta de cluster solar para la región debe:

- Identificar y potenciar las oportunidades de avalar la formación de consorcios minero-solares, ciudades-solares, público-solar, astronomía-solar, eco-turismo-solar que desarrollen soluciones técnicas a partir de la energía solar para estas industrias. En este aspecto la estrategia de cluster que se desarrolla más adelante propone la articulación de redes y de trabajo conjunto entre la industria minera y solar.
- Identificar y potenciar proyectos que operen como pilotos y por lo tanto efecto demostración para el resto del país aprovechando las excepcionales oportunidades de radiación con que cuenta la región, entre ellos iniciativas tipo solar-Calama, solar-Antofagasta y/o solar-Tocopilla. Este tipo de iniciativas potenciarán el desarrollo del mercado de auto generación residencial, industria y comercial y el mercado de las compras públicas.
- Identificar y potenciar mecanismos de colaboración entre la academia y la industria aprovechando la oportunidad que ofrece la región como Laboratorio Natural para la energía solar.

4.2 LINEAMIENTOS DE LA ESTRATEGIA: PARA QUÉ DESARROLLAR UNA ESTRATEGIA DE DESARROLLO DE UN CLUSTER SOLAR EN LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA

La estrategia de cluster solar para Antofagasta comprende tres ejes impulsores estratégicos⁵⁴ que orientan el fin último que se espera alcanzar, el **para qué** de este esfuerzo:

- Creación y captura de valor en la región asociados al desarrollo de la industria solar en todas sus posibles aplicaciones, para que la región de Antofagasta se beneficie del desarrollo de la industria solar.
- Desarrollo de un entorno favorable a la creación de riqueza y mejoramiento de la calidad de vida para que la región de Antofagasta acoja empresas y profesionales que agreguen valor a la industria.
- Desarrollo de un sistema de gobernanza para el fortalecimiento de la industria que se localice y lidere desde la región de Antofagasta y que al mismo tiempo reconozca y potencie su relación con el país y el Programa Estratégico en la Industria Solar de CORFO y la industria a nivel global.

La estrategia de cluster considera tres ejes de acción que buscan utilizar las condiciones habilitantes y ventajas que ya existen en la región:

- Investigación y desarrollo tecnológico nacional: a partir de potenciar la Plataforma Solar del Desierto de Atacama como un eje estructurante del desarrollo de la investigación y desarrollo tecnológico nacional en torno a la industria solar es posible desarrollar alianzas entre universidades de la región y centros de investigación nacionales e internacionales y generar lazos de cooperación entre la industria y centros de investigación para la innovación en la industria.
- Gestión del entorno para la competitividad: es fundamental contar con un grupo capaz de articular las relaciones entre los distintos estamentos que participarían del cluster (gobierno, sociedad civil, academia, industria, etc.) y que esta función sea desarrollada de manera permanente tanto por asesores, como por profesionales del cluster solar. En temas afines se encuentra trabajando CREO Antofagasta, la Universidad Católica del norte, el Consejo regional para la competitividad, entre otros.
- Fortalecimiento institucional: se requiere desarrollar una Iniciativa de cluster en el que el Gobierno Regional juegue un importante rol de liderazgo y que aglutine masa crítica de investigadores a nivel nacional (como el SERC o ISE Fraunhofer), con el fin de jugar un rol de liderazgo político y técnico frente a instituciones de gobierno nacionales y regionales, desarrollar lineamientos estratégicos de mediano y largo plazo para consolidar las líneas de acción del cluster solar, identificar necesidades de la industria y propuestas relacionadas a partir de la iniciativa del cluster solar, formular líneas de acción y de proyectos de desarrollo para potenciar el cluster solar y dar seguimiento y

⁵⁴ Estos impulsores estratégicos fueron definidos en concordancia con líneas de acción identificadas, las que han sido construidas como respuesta a las brechas determinadas en las distintas instancias de la metodología.

difundir las metas y logros del cluster entre los actores clave para lograr la validación social y política requerida.

4.3 FOCOS ESTRATÉGICOS DE LA ESTRATEGIA DE CLUSTER

A continuación se describen los principales focos estratégicos que son considerados en la propuesta de estrategia de cluster solar para Antofagasta.

4.3.1 Fomento productivo

En concordancia con los focos estratégicos, la política de promoción de cluster considera la posibilidad de implementar políticas a nivel regional y coordinar esfuerzos con las políticas de fomento a nivel nacional que permitan:

- Desarrollo de estímulos a la provisión de productos y servicios con capacidades locales.
- Desarrollo de la manufactura con flexibilidad dinámica y concepción de tejidos industriales intra y extra regionales.
- Desarrollo de proveedores locales con captura de valor local cuando sea competitivo.
- Empaquetamiento de proyectos de desarrollo e instalación.
- Fomento a la instalación de soluciones de calor con energía solar a nivel residencial.
- Fomento al desarrollo de ciudades solares.
- RSE y RSP para promover el desarrollo de proyectos que capturen valor para la región mediante compras a empresas privadas y organismos públicos.

4.3.2 Mercado público

En línea con las políticas de fomento, la conformación de una demanda desde el sector público es un gatillante importante para la consolidación de un mercado. Las iniciativas que existen desde el nivel central para la incorporación de renovables en edificios públicos deben contar con una priorización particular en la región dadas las condiciones de radiación existentes. En esta línea se propone fortalecer:

- Desarrollo de capacidades que faciliten las compras públicas (sistemas, capacitación, organización).
- Estímulo y seguimiento al fomento de las ERNC a través de las compras públicas.

4.3.3 Asociatividad estratégica

Como elemento central en una política de cluster se encuentra el fortalecimiento del tejido social a nivel productivo que permita generar cooperación y coordinación entre los distintos segmentos público, privado y académico que en conjunto pueden potenciar el desarrollo de las ventajas competitivas de la región. En esta línea se propone facilitar:

- Articulación intra y extra regional con tejidos de producción y servicios que permitan realizar en forma competitiva el Desarrollo de Proyectos e Implementación.
- Concertación y coordinación para el desarrollo competitivo de proyectos (co-opetition).
- Coordinación y concertación de esfuerzos entre actores, con potencial de desarrollo consorciado.
- Coordinación y concertación de proyectos para exportación de energía fuera de la Región (constituir una oferta atractiva).
- Desarrollo de institucionalidad del cluster nacional y regional asentada en la Región.
- Desarrollo externo a la región de actividades de prefabricación de componentes, módulos, partes o piezas o bien por la aparición de componentes RTA (Ready To Assemble) que puedan ser coordinadas desde la región
- Vinculación con cluster internacionales de referencia.
- Vinculación con instituciones y centros nacionales e internacionales para el desarrollo de I+D+i conjunta.
- Vinculación formación-plataforma solar
- Vinculación del cluster con la agenda ambiental que proyecte las oportunidades que ofrece el desarrollo de la energía solar

4.3.4 Atracción de inversión directa extranjera

La región no cuenta actualmente con las condiciones suficientes para desarrollar una trama productiva que permita la operación inmediata de la industria solar. Frente a esta situación, la atracción de empresas competidoras opera como un buen mecanismo de inicio que en el mediano plazo debiese generar spillovers asociados al desarrollo de capacidades, formación de capital humano, difusión tecnológica entre otros. En esta línea se propone la atracción de empresas competidoras para que se instalen en la región de Antofagasta, con división del trabajo competitivo intra y extra regional, pero buscando la creación y captura de valor a nivel local para todos los segmentos

4.3.5 Financiamiento

La industria solar para todas sus aplicaciones aún enfrenta problemas de financiamiento para el desarrollo de proyectos y dificultades para bancarizar proyectos asociados a problemas técnicos y de estructura del mercado eléctrico. Sin embargo, existe espacio para que en el corto plazo se puedan desplegar políticas que faciliten el acceso a financiamiento a partir de:

- Articulación de proyectos-solares con créditos con garantía CORFO.
- Desarrollo de fondos de capital de riesgo regionales.

4.3.6 I+D+i y transferencia tecnológica

El desarrollo de un cluster dinámico, que avance hacia la especialización en los segmentos de la cadena de valor que genera mayores rentas para contribuir al desarrollo local demanda el fortalecimiento de las capacidades regionales en I+D+i y la facilitación de transferencia tecnológica desde centros de excelencia a la industria local. La consecución efectiva de este objetivo requiere de selectividad estratégica en el gasto en I+D+i en energía solar en la región. En búsqueda de este objetivo se propone impulsar:

- Atracción y vinculación de centros de excelencia a la Región.
- Creación de capacidades de infraestructura de laboratorio necesarias.
- Desarrollo de capacidades competitivas de absorción de tecnologías dentro del sector privado.
- Desarrollo de I+D+i que incluya la contratación de nuevo personal de investigación y la vinculación con entidades de excelencia externas.
- Desarrollo de líneas de investigación en relación con las necesidades de la industria: diseño de soluciones a problemas de estabilidad del sistema, impacto de las condiciones locales en el desempeño y vida útil de los equipos, impacto asociado a las condiciones climatológicas, de suelo y geográfica del norte del país en combinación de las particularidades del efecto de la operación minera en los sistemas.

4.3.7 Información pública

En el estado de desarrollo del mercado de la energía solar en el país y la región, existen aún desafíos de generación de información de base que constituyen una necesidad para el corto plazo. Entre ellas se consideran:

- Difusión clara de la competitividad de las alternativas tecnológicas.
- Información pública: difusión de la demanda asociada a proyectos de inversión y desarrollo definidos.
- Difusión de la demanda proyectada de energía de la región.
- Mejorar difusión, conocimiento y vinculación de la banca con proyectos solares.
- Generación de información relevante para la industria en temas meteorológicos, radiación, acidez, entre otros.

4.3.8 Normativa/certificación/estandarización

El desarrollo de la industria solar requiere de un marco normativo que facilite la operación del mercado disminuyendo las asimetrías de información y costos de transacción. Se propone en esta línea que la región y el cluster en particular lideren los lineamientos para:

- Certificación de calidad de instalaciones residenciales.

- Definición de política y reglamentación para la superación de potenciales conflictos con pertenencias mineras y pueblos originarios.

4.3.9 Políticas de Recursos humanos

Finalmente, la política de recursos humanos es crítica para la formación del cluster y el desarrollo de la industria, pero fundamentalmente para garantizar que el valor del crecimiento de la industria se quede en la región y contribuya al bienestar de su población. Para esto se propone trabajar en:

- Atracción de capital humano avanzado para que se radique en la región.
- Atracción de personal calificado para que se instale en la región y capture valor para la región.
- Desarrollo de instrumentos de financiamiento a estudiantes que permitan la atracción de estudiantes con becas dedicadas al estudio de la energía solar y la disponibilidad de becas de formación competitivas a nivel regional
- Desarrollo de programas de formación de técnicos y especialistas locales, que capturen valor para la región y se orienten a:
 - Formación de formadores en la región.
 - Formación de instaladores y mantenedores residenciales.
 - Formación de técnicos y especialistas en mantención.
 - Formación de técnicos y especialistas para la absorción competitiva de tecnología.
 - Programa de formación de formadores.
- Programas de apresto para la certificación de empresas.
- Selectividad en el área y la región en becas de post grado y técnicas.
- Por otra parte, es siempre un desafío mejorar el atractivo de la región considerando el perfil de población y calidad en la estructura de salud y educación para todos los segmentos de la población⁵⁵.

4.4 MODELOS DE FINANCIAMIENTO E INSTITUCIONALIDAD

De acuerdo al Greenbook de la política de cluster, su definición y el desarrollo de una institucionalidad para su gestión es una tendencia creciente en el tiempo, legitimada principalmente por las políticas de cluster en Europa como parte de sus políticas de competitividad e innovación (Lindkvist et al, 2014).

⁵⁵ En anexo se encuentra una estimación de la mano de obra requerida para el desarrollo de la industria a corto, mediano y largo plazo

A nivel internacional existen múltiples modalidades de financiamiento y estructura organizacional. Sin embargo, lo que se mantiene en común entre las diferentes iniciativas es plantear sus objetivos centrados en la interacción y colaboración entre las partes a partir de la construcción de redes localizadas en un territorio en particular.

Entre las principales tendencias destaca:

- El financiamiento de la iniciativa de cluster es por lo general 60% público y 40% privado, con la idea de aumentar de manera paulatina el aporte de los privados, pero entendiendo que en todos los casos el financiamiento en la etapa inicial de la iniciativa de cluster es principalmente público.
- En cuanto a la organización, en una iniciativa de cluster trabajan entre 2 y 6 personas, entre los cuales cuenta un gerente de cluster, que idealmente debiese tener experiencia en el mundo privado.
- En la mayoría de los casos, la iniciativa de cluster está localizada en la región donde se desarrolla la actividad y a distancias cortas de las principales empresas, centros de investigación e instituciones públicas que conforman el cluster.

4.5 INICIATIVA DE CLUSTER PARA LA INDUSTRIA SOLAR EN CHILE

A continuación, se revisa y propone la estructura y funcionamiento de la institucionalidad relacionada con el cluster (iniciativa de cluster), a través de sus objetivos y funciones y sus dimensiones necesarias a considerar.

4.5.1 Objetivos y funciones de la Iniciativa de Cluster

Objetivo

El objetivo general de la iniciativa de cluster es facilitar la interacción y colaboración entre los miembros del cluster solar de Antofagasta a partir de la construcción de redes y espacios de colaboración entre la industria y las instituciones académicas y entre la industria y el sector público, para incrementar la generación y captura de valor en la Región. Ello con la visión de convertir a la región Norte y Antofagasta como centro virtuoso: un polo de producción tecnológica solar de clase mundial.

Líneas de acción.

El diseño de las funciones básicas de la iniciativa de cluster solar se ha realizado sobre la base de las conclusiones de estudios de más de 250 iniciativas de cluster⁵⁶. Así, distinguiremos seis líneas de acción básicas para la iniciativa del cluster solar de Antofagasta:

- Networking e información.
- Acción política.
- Cooperación comercial.
- Educación y formación.
- Innovación y tecnología.
- Expansión del Cluster.

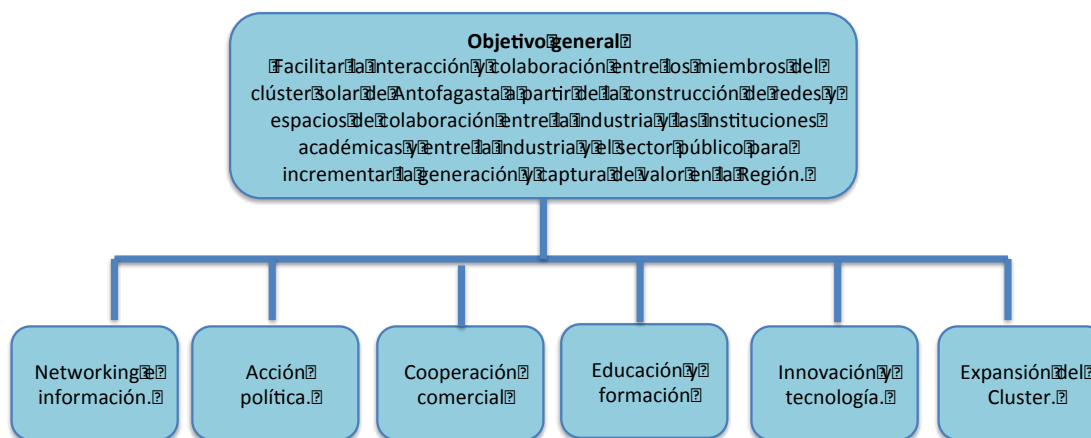


Figura 37: Propuesta de institucionalidad para el cluster solar de la región de Antofagasta

Networking e información.

La creación y desarrollo de redes de trabajo será un aspecto central de la IC. (Es de hecho, el objetivo más común de las IC). La IC facilitará también la adquisición e intercambio de información. Para ello recopilará información y publicaciones pertinente y relevante al cluster, generará espacios para compartir información en seminarios, invitará a conferencistas, creará un sitio web, etc.

⁵⁶ The Cluster Initiative GreenBook 2003 y 2013.

Acción política.

La IC abordará también la acción política, el lobby y la creación de un diálogo entre la industria, la comunidad científica y el Gobierno. Una instancia formal en este ámbito será la mesa articuladora.

Cooperación comercial.

La IC promoverá la cooperación comercial involucrando una serie de objetivos, tales como acciones de compra conjunta, asistencia empresarial, inteligencia de mercado, y promoción de las exportaciones.

Educación y formación.

La IC abordará aspectos de educación y formación que incluyen tanto la capacitación laboral como la formación en gestión, promoviendo fuertemente el uso ventajoso de los instrumentos de financiamiento público y acciones coordinadas entre los miembros del cluster.

Innovación y tecnología.

La IC facilitará la mejora de los procesos de innovación y cambio tecnológico. Esto implica seguir las tendencias técnicas, el establecimiento de normas técnicas, que difunden la nueva tecnología y la mejora de los procesos de producción. Para ello podrá coordinar a empresas, universidades e instituciones pertinentes en iniciativas de I+D+i, transferencia tecnológica, emprendimiento, creación de consorcios, instalación de centros de excelencia, acceso a financiamiento público.

Expansión del Cluster.

La IC promoverá el Cluster solar de Antofagasta, la mejora de la imagen de la región, el desarrollo de una marca o denominación y la atracción de inversión extranjera. También fomentará los servicios de incubación de empresas y la promoción de empresas spin-off.

4.5.2 Dimensiones necesarias a considerar en el proceso de desarrollo de la iniciativa de cluster

En el proceso de desarrollo de la IC se considerarán las seis dimensiones siguientes, que el mismo estudio citado anteriormente, considera claves en su proceso de desarrollo:

- Inicio y planificación.
- Governance y financiamiento.
- Alcance de la membresía.

- Recursos y facilitador
- Marco y consenso
- Momentum

Inicio y planificación.

Para dar inicio a la iniciativa de cluster será necesario identificar o definir una persona que tome el liderazgo, esto es un “clusterpreneur”. Él o ella deberá ser en lo posible, alguien que tenga experiencia en el ámbito del cluster en formación. La iniciativa de cluster deberá considerar el Programa Estratégico Nacional “Industria Solar” buscando posicionarse como el líder en el desarrollo de la iniciativa en la Región de Antofagasta y considerando que es parte de un proceso en el que participen las organizaciones a diferentes niveles (nacional, regional, local).

Governance y financiamiento.

Se estima que la IC estará inicialmente impulsada por el gobierno regional, con participación de la industria.

Se contempla la necesidad recursos iniciales basales o semilla por 3 años, para financiar la estructura básica de operación (3-5 personas), una mesa técnica y una mesa articuladora. El presupuesto basal sería de \$150 millones anuales y podría ser financiado con subsidios de gobierno y aportes de empresas. Entre las modalidades que pueden explorarse están, Incentivo Tributario a la Inversión en I+D, FNDR o Programa Transferencia de Competencias a GOREs.

Posteriormente, se espera poner en operación un sistema de membresía o suscripción, que contemple el pago de un fee anual por cada miembro. Se espera que sea autosustentable financieramente a partir del 2020 o 2025, dependiendo de los esfuerzos que se realicen desde hoy.

Así, la institucionalidad desarrollada para la gestión del Cluster Solar:

- Reúne a actores sociales, industriales, políticos y académicos.
- Es liderada inicialmente por CORFO o Minecon y luego por GORE Antofagasta.
- Dispone de una gerencia técnica para continuidad de líneas de investigación y vinculación con industria (SERC, Fraunhofer, otros).
- Se articula con la Plataforma Solar del Desierto de Atacama como uno de los ejes estructurantes para la innovación.
- Dispone de una Gerencia de gestión (o articulación) que permita generar las confianzas entre actores involucrados.

Alcance de la membresía.

El alcance de una IC define quién puede ser miembro de la iniciativa. El alcance está relacionado tanto con la zona geográfica, la etapa en el sistema de valor. (competidor, proveedor, cliente), empresas nacionales versus empresas extranjeras, y el tamaño de la empresa.

En el caso de esta iniciativa de cluster se trata de la industria solar incluyendo fotovoltaica, termosolar, concentración solar, otras, de la región de Antofagasta y de las etapas del sistema de valor manufactura de equipos, desarrollo de proyectos e implementación, operación y mantención. Se incluye entonces a: empresas de manufactura, importación, comercialización de partes y equipos de la industria solar, empresas de desarrollo e implementación de proyectos, empresas de operación y mantenimiento, Centros de investigación, centros de formación universitaria, técnica y media, CORFO, Seremi de Economía, Seremi de Energía, Consejo Regional para la Competitividad, Gobierno regional, Gobierno municipal, otros relevantes y pertinentes.

Recursos y facilitador

Los recursos mínimos de la IC son: un facilitador, una secretaria, una oficina y un sitio web. También será necesario, un consejo directivo que oriente y supervise la IC y la participación de representantes de los diferentes intereses. El nivel de recursos es muy variable. Con el tiempo, algunas IC las arreglan para crecer a través del aumento en número de la membresía. El facilitador puede provenir de la industria, el sector público, la consultoría, etc.

Modelo de cluster y consenso

La iniciativa de cluster pueden construir su propio modelo o utilizar uno traído por consultores o por medio de una franquicia. Una recomendación en esta línea es gastar algún esfuerzo en el análisis conjunto del propio cluster y en la construcción de compromiso entre las partes involucradas. Es recomendable también lograr una visión claramente formulada y metas (cuantificables). Construir consenso significará importantes esfuerzos.

Momentum

Un elemento crítico para la IC será crear un impulso suficiente para sobrevivir a los cambios en la política. Por ello será necesario desarrollar una fuerte campaña para la creación de capital social y reclutamiento de miembros del cluster así como experiencias demostrativas del mayor valor que es posible capturar trabajando coordinadamente. El momentum, dependerá de la cantidad de empresas miembros y de la medida en que la IC depende de un solo individuo. En este sentido, la industria minera, a través de la materialización de los proyectos solares

potenciales que posee y su compromiso con el cluster, será un actor fundamental para éxito de la iniciativa.

4.6 PROPUESTA DE LINEAMIENTOS ESPECÍFICOS

La propuesta de lineamientos estratégicos del cluster solar de Antofagasta busca, dentro de los principales resultados definidos a partir de los antecedentes levantados, la generación de nuevas compañías orientadas a la instalación de sistemas solares que identifiquen las mejores oportunidades de un mercado global y dinámico, desarrollando sistemas con menores costos y eficientes. Estas compañías deberán ser sensibles a las necesidades de los clientes finales, y también a sus preferencias y necesidades, de manera que sean capaces de entregar soluciones ad-hoc a estos clientes, considerando las condiciones edafoclimáticas (salinidad, humedad, polvo, etc). Todo ello bajo una estrategia que minimice los costos de instalación y mantención.

De esta forma, la propuesta estratégica determina tres ejes principales o impulsores estratégicos, definidos a partir de una serie de líneas de acción identificadas, las que han sido construidas como respuesta a las brechas determinadas en las distintas instancias de la metodología. Ello se resume en el siguiente esquema.

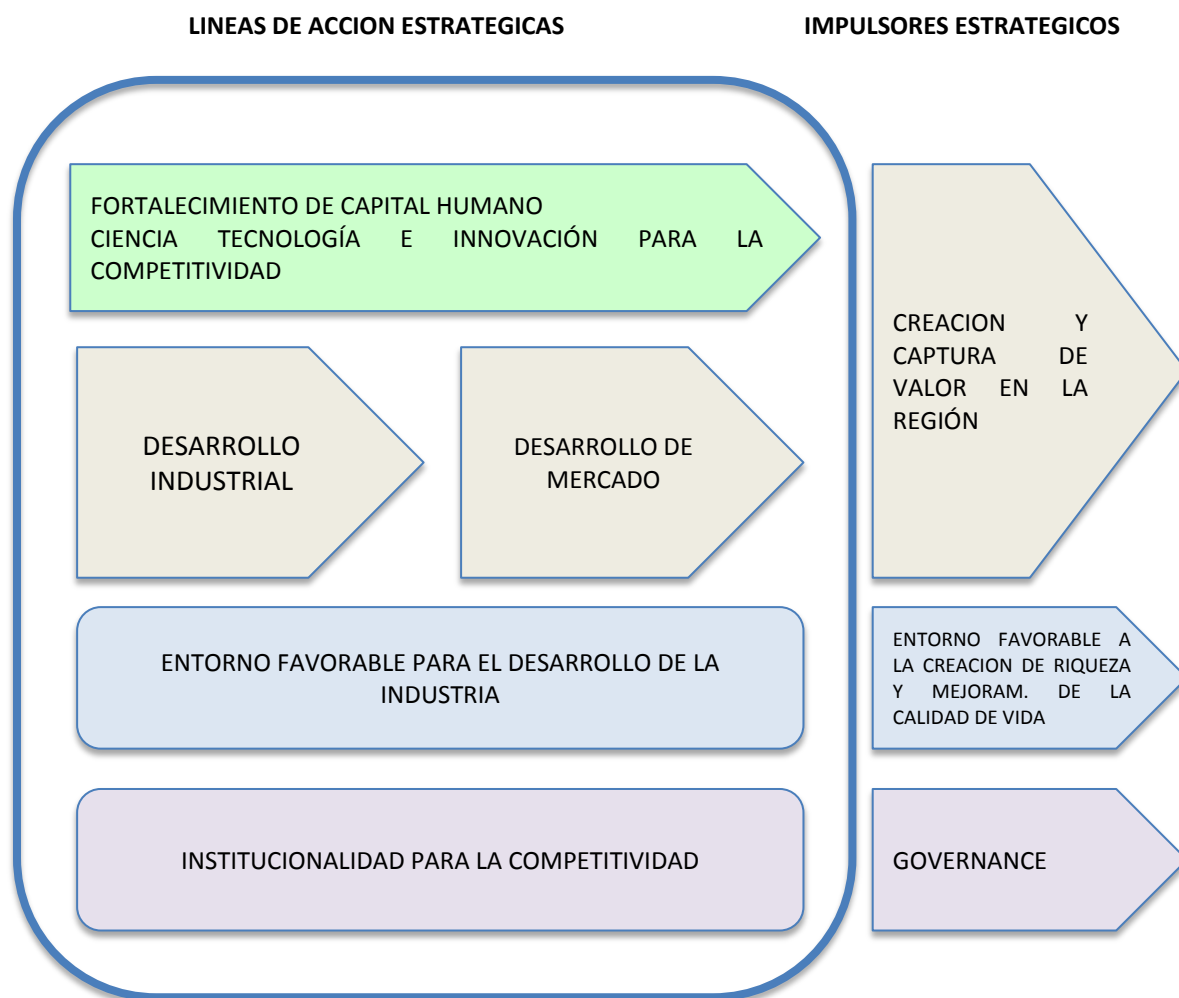


Figura 38: Principales elementos de la estrategia de cluster solar para la región de Antofagasta

Los cuadros siguientes presentan la relación entre brechas y lineamientos estratégicos, que se describen a partir de una serie de iniciativas estratégicas, que serán la base para la definición de las distintas dimensiones a evaluar en cada una de ellas.

Cuadro 18: Línea de acción estratégica “Fortalecimiento de capital humano”

Brechas	Iniciativas Estratégicas
- Plantas termosolares: - Oferta insuficiente de profesionales con las competencias necesarias para los requerimientos futuros de construcción de plantas, en particular termosolar, (obras civiles, equipamientos electromecánicos, montaje, soldadura) - Soluciones de calor a pequeña escala, ACS y energía fotovoltaica: - Oferta insuficiente de capital humano especializado para el desarrollo esperado de proyectos, instalación y mantención, entre ellos: ✓ ingenieros especializados en energía solar ✓ arquitectos capaces de integrar soluciones de calefacción o ACS en la planificación de nuevas viviendas o edificios ✓ instaladores con competencias técnicas y que cuenten con una certificación adecuada y técnicos de mantención con las mismas características. - Disponibilidad limitada de cursos en especialidades, así como la capacidad en infraestructura técnica para la demanda esperada - Disponibilidad limitada de docentes especializados en áreas requeridas para la demanda esperada	1. Formación y atracción de capital humano avanzado en la región.
	Programas de formación de post grado de acuerdo
	Financiamiento de becas de post grado con selectividad en el área y la región.
	Fomento la instalación de capital humano avanzado en la región.
	Acuerdo con extranjería para agilizar los trámites de visa de trabajo.
	2. Formación y atracción de técnicos y especialistas en la región.
	Programas de formación de técnicos y especialistas.
	Financiamiento de becas para técnicos y especialistas con selectividad en el área y la región.
	Programas de formación continua, reconversión y certificación de competencias de técnicos y especialistas.
	Fomento al instalación de personal técnico y especializado en la región.
	Acuerdo con extranjería para agilizar los trámites de visa de trabajo.

Cuadro 19: Línea de acción estratégica “Ciencia tecnología e innovación para la competitividad”

Brechas	Iniciativas Estratégicas
- Necesidad de fortalecer la Información básica: desde datos confiable de radiación solar (y viento con sus ráfagas), hasta problemas de manejo de polvo y efectos ambientales del desierto de Atacama en partes, componentes y sistemas solares. - Falta de ensayos estandarizados: las excelentes condiciones aseguran el poder disponer de una plataforma de ensayo con al menos 30% más de horas utilizables al año que en los mejores lugares del mundo. - Necesidad de fortalecer la investigación básica: en materiales, sistemas de acumulación, nuevos procesos y otros, de acuerdo a la demanda esperada - Necesidad de fortalecer la Información básica: desde información confiable de radiación solar (y viento con sus ráfagas), hasta problemas de manejo de polvo y efectos ambientales del desierto de Atacama en partes, componentes y sistemas solares. - Falta de ensayos estandarizados: las excelentes condiciones aseguran el poder disponer de una plataforma de ensayo con al menos 30% más de horas utilizables al año que en los mejores lugares del mundo. - Necesidad de fortalecer investigación básica: materiales, sistemas de acumulación, nuevos procesos y otros de acuerdo a demanda esperada	1. Vinculación con instituciones, centros y empresas nacionales e internacionales para el desarrollo de I+D+i conjunta.
	2. Atracción de centros de excelencia de nivel internacional en I+D+i empresariales e institucionales para que se instalen en la región.
	3. Posicionamiento de la región como un núcleo de desarrollo mundial de la industria solar.
	4. Fortalecimiento y desarrollo de capacidades de personal, equipamiento e infraestructura de I+D+i con selectividad estratégica regional y solar y orientadas a lograr impactos contundentes.
	5. Fortalecimiento y desarrollo de capacidades competitivas de absorción de tecnologías en las PYMES.
	6. Fomento a la I+D+i+e de alto impacto con selectividad estratégica solar y regional.
	7. I+D+i selectiva en temas clave: soluciones a problemas de estabilidad, estudios del comportamiento de la tecnología en el largo plazo, I+D en el impacto de condiciones locales en el desempeño y vida útil de los equipos (condiciones climatológicas, de suelo y geográfica del norte del país en combinación de las particularidades del efecto de la operación minera en los sistemas).

Cuadro 20: Línea de acción estratégica “Desarrollo industrial”

Brechas	Iniciativas Estratégicas
- Poco dinamismo y desarrollo de la industria conexas para la fabricación de componentes y montajes para las condiciones de la zona. - Poco desarrollo de una industria de certificación de instalaciones y de productos/servicios dentro de los sistemas de valor de la industria solar. - Desconocimiento y poca vinculación del sector financiero a proyectos solares y renovables en general.	1. Fomento al desarrollo de proyectos de generación, que generan tracción en el sistema de valor.
	2. Fomento la producción competitiva de bienes y servicios con capacidades locales en el sistema de valor.
	3. Atracción de empresas competidoras de clase mundial en actividades de manufactura, servicios de desarrollo e implementación y generación, para que se instalen en la región, con aprovechamiento de capacidades locales y proyección global.
	4. Apoyar una mayor inversión y desarrollo emprendedor en actividades de manufactura, servicios de desarrollo e implementación y generación por parte de empresas locales establecidas.
	5. Desarrollo y fortalecimiento de los tejidos industriales intra regionales y con vinculación extra regional, para garantizar la competitividad en el desarrollo e implementación de proyectos.
	6. Desarrollo de actividades de prefabricación de componentes, módulos, partes o piezas o componentes RTA (Ready To Assemble) y empaquetamiento de proyectos de desarrollo e instalación ligados a operaciones o localidades remotas (primero para Chile, luego exportación).
	7. Concertación y coordinación para el desarrollo competitivo de programas y proyectos con potencial de desarrollo consorciado (residencial y de ciudades solares, público-solar, minero-solar, astronomía-solar, eco-turismo-solar).
	8. Desarrollo de servicios de certificación de calidad de instalaciones residenciales.
	9. Desarrollo de industrias relacionadas y conexas.

Brechas	Iniciativas Estratégicas
	a. Integración de la construcción en proyectos de desarrollo de ciudades-solares
	b. Vinculación sinérgica de proyectos ambientales y solares.
	c. Desarrollo de la industria turística y de la entretención para una mayor captura de valor local a partir del gasto de los trabajadores temporales en la región.
	10. Financiamiento.
	a. Desarrollo de fondos de capital de riesgo regionales.
	b. Atracción de inversión solar a la región.
	c. Mejorar difusión, conocimiento y vinculación de la banca con proyectos solares.
	d. Articulación proyectos-solares con créditos con garantía CORFO. Explorar efectividad de aval del estado vía Crédito con garantía CORFO.
	e. Selectividad estratégica en el financiamiento público al sector solar a nivel regio

Cuadro 21: Línea de acción estratégica “Desarrollo de mercados”

Brechas	Iniciativas Estratégicas
- Oportunidad en la exploración de mercados extranjeros donde se podría capturar valor con exportación de servicios o equipos. - Poca difusión y conocimiento de la tecnología en ciertos nichos de mercado, en donde se pueden desarrollar actores asociados a la cadena de valor de la industria solar para captura valor. - Oportunidad en la adquisición de tecnología solar para la infraestructura asociada a municipalidad e institución gubernamentales. - Oportunidad para el desarrollo de ciudades solares aisladas en la región.	1. Desarrollo segmentado del mercado: residencial y de ciudades solares, público-solar, minero-solar, astronomía-solar, eco-turismo-solar.
	2. Exportación solar: energía, servicios de desarrollo e implementación, equipos.
	3. RSE ⁵⁷ y RSP ⁵⁸ para promover el desarrollo de proyectos que capturen valor para la región mediante compras por parte de empresas privadas y organismos públicos.
	4. Compras de gobierno de tecnología solar.
	5. Proyección estratégica y difusión de la demanda asociada a proyectos de inversión y desarrollo definidos.

⁵⁷ RSE refiere a Responsabilidad Social Empresaria.

⁵⁸ RSP refiere a Responsabilidad Social del Productor.

Cuadro 22: Línea de acción estratégica “Entorno favorable para el desarrollo de la industria”

Brechas	Iniciativas Estratégicas
• Incipiente desarrollo del capital humano de calidad para el crecimiento y la captura de valor de la industria solar. • El índice asociado a la infraestructura de las viviendas y al entorno de la región, se encuentra por debajo del promedio nacional y se requiere apoyar su mejoramiento para atraer organizaciones y capital humano de clase mundial. • El índice asociado a las condiciones socio-culturales de la región, se encuentra por debajo del promedio nacional y se requiere apoyar su mejoramiento para atraer organizaciones y capital humano de clase mundial.	1. Desarrollo de la infraestructura para la competitividad y la calidad de vida.
	2. Cobertura y calidad en la educación, salud y servicios sociales básicos, para los distintos segmentos de la población.
	3. Desarrollo del atractivo de la Región para vivir considerando las necesidades de los diferentes segmentos de la población.

Cuadro 23: Línea de acción estratégica “Institucionalidad para la competitividad”

Brechas	Iniciativas Estratégicas
• Coordinación pública para la generación de información de base: Estudios de radiación y condiciones edafoclimáticas, Información de terrenos fiscales: coordinación Bienes Nacionales y SII con información geo referenciada para la localización de proyectos • Falta de instituciones de certificación de competencias profesionales y técnicas, de equipamiento e instalaciones que respondan a la demanda futura esperada • Problemas en la evaluación y aprobación de proyectos por falta	1. Definición de política de manufactura local competitiva a través de un estudio comparado de acciones de gobierno en países competidores en manufactura y definición de una política favorable.
	2. Definición de política y reglamentación para la superación de potenciales conflictos con pertenencias mineras y pueblos originarios. (Considerar integración de pueblos originarios en proyectos de ERNC).
	3. Desarrollo de iniciativas para la agilización de los trámites públicos

de información sobre proyectos solares en las instituciones públicas que intervienen (Ministerios, CONAF, Consejo de Monumentos Nacionales, Municipios) • Oportunidad de mejora de la coordinación para la identificación de barreras institucionales y normativas a lo largo de las etapas de formación, desarrollo y consolidación del cluster de la industria.	en el desarrollo de proyectos 4. Desarrollo de la institucionalidad y gobernanza del cluster asentada en la Región. 5. Difundir las políticas y la regulación. 6. Vinculación con cluster internacionales de referencia. 7. Desarrollo de normativa y certificación.
--	--

A partir de la información anterior, se definen seis líneas de acción, las que se presentan en los cuadros siguientes.

1) Institucionalidad para la competitividad			
Descripción	El desarrollo de un cluster solar en Antofagasta ayudará a potenciar el ordenamiento institucional en lo político y territorial, de manera que permita que el gobierno provea de bases sólidas y mecanismos efectivos y claros para el desarrollo de un cluster de clase mundial en la región. Se deberán generar mecanismos adecuados para fomentar la asociatividad del sector, incentivando la interacción de los distintos integrantes privados con los organismos de gobierno que regulan la actividad, la academia y actores internacionales. Ello permitirá asegurar la viabilidad, respaldo político y alineamiento de la estrategia de desarrollo de una industria solar competitiva a nivel mundial en la región. Es sabido que las instituciones tienen un poderoso efecto sobre las decisiones de los actores y la dinámica de la política y la economía, incentivando conductas y acciones y desincentivando otras. Además, algunos arreglos y dispositivos institucionales producen mejores resultados de política que otros, por lo que la manera, el diseño y el efectivo funcionamiento de las instituciones políticas afectan indirectamente las posibilidades de desarrollo de cualquier sector particular en una economía. De esta forma, esta línea de acción busca el fortalecimiento de la organización administrativa del Estado en pos del efectivo desarrollo planificado y los consiguientes requerimientos, de la estrategia solar en la región de Antofagasta. Por último, es deseable que el desarrollo institucional permita una vinculación del cluster solar con otros cluster internacionales de referencia, de preferencia solares, que permitan intercambiar experiencias y mejores prácticas, además de desarrollar métricas comunes para trabajar indicadores de éxito u otro tipo de benchmarks que permita la comparabilidad entre las distintas iniciativas.		
	Desarrollar las condiciones que permitan la adecuada orientación e intervención del Estado, desde una óptica de eficacia y calidad, en lo económico, social, funcionamiento institucional e interacción entre distintos niveles, para apoyar el desarrollo del cluster solar en la región de Antofagasta. Ello incluye especialmente la forma de interacción de las administraciones públicas con el mercado y las organizaciones privadas o la sociedad civil.		
Iniciativas		Tecnología asociada	Etapas en el sistema de valor
	1. Definición de políticas competitivas de desarrollo del sector a través de un estudio comparado de acciones de gobierno en países competidores y definición de una política favorable.	Todas	Análisis de entorno
	2. Definición de política y reglamentación para la superación de potenciales conflictos con pertenencias mineras y pueblos originarios. (Considerar integración de pueblos originarios en proyectos de ERNC).	Todas	Desarrollo de proyectos e implementación
	3. Desarrollo de iniciativas para la agilización de los trámites públicos en el desarrollo de proyectos	Todas	Desarrollo de proyectos e implementación

	4. Desarrollo de la institucionalidad y gobernanza del cluster asentada en la Región.	Todas	Todas
	5. Difundir las políticas y la regulación.	Todas	Todas
	6. Vinculación con cluster internacionales de referencia	Todas	Todas
	7. Vinculación con el medio regional, articulación con la industria local y regional. Generación y aprovechamiento de sinergias....etc....		
	8. Iniciativas para el desarrollo de normativa y certificación	Todas	Desarrollo de proyectos e implementación O&M

	2) Desarrollo Industrial		
Descripción	El desarrollo de un Cluster Solar en Antofagasta requiere de una mayor participación y diversificación de actores relacionados con la industria solar. En este sentido, actores relacionados a la manufactura de equipos, al desarrollo de proyectos, a la operación y mantenimiento de los proyectos, e investigación y desarrollo de la tecnología, deben jugar un papel clave y protagónico en la industria nacional. Para esto, se debe impulsar el desarrollo de estos actores con determinadas iniciativas para generar y capturar el valor que implica su crecimiento a nivel local.		
Objetivo	Atraer, desarrollar, fomentar y estrechar las relaciones estratégicas de los actores, tanto nacionales como internacionales, dentro de la cadena de valor en la industria solar para que se instalen en la región de Antofagasta con el fin de generar mayor valor y capturarlo para la región.		
Iniciativas		Tecnología asociada	Etapas en el sistema de valor
	1. Fomento al desarrollo de proyectos de generación, que generan tracción en el sistema de valor	Todas	Manufactura/Desarrollo/Instalación/Operación
	2. Fomento la producción competitiva de bienes y servicios con capacidades locales en el sistema de valor.	Todas	Manufactura/Desarrollo/Instalación/Operación
	2. Atracción de empresas competidoras de clase mundial en actividades de manufactura, servicios de desarrollo e implementación y generación, para que se instalen en la región, con aprovechamiento de capacidades locales y proyección global	Todas	Instalación/Operación
	3. Apoyar una mayor inversión y desarrollo emprendedor en actividades de manufactura, servicios de desarrollo e implementación y generación por parte de empresas locales establecidas.	Todas	Manufactura/Desarrollo/Instalación/Operación
	4. Desarrollo y fortalecimiento de los tejidos industriales intra regionales y con vinculación	Todas	Manufactura/Desarrollo/Instalación/Operación

	extra regional, para garantizar la competitividad en el desarrollo e implementación de proyectos.		
	5. Desarrollo de actividades de prefabricación de componentes, módulos, partes o piezas o componentes RTA (Ready To Assemble) y empaquetamiento de proyectos de desarrollo e instalación ligados a operaciones o localidades remotas (primero para Chile, luego exportación).	Todas	Desarrollo/Instalación y Operación
	6. Concentración y coordinación para el desarrollo competitivo de programas y proyectos con potencial de desarrollo consorciado (residencial y de ciudades solares, público-solar, minero-solar, astronomía-solar, eco-turismo-solar).	Todas	Manufactura y Desarrollo Instalación y Operación
	7. Desarrollo de servicios de certificación de calidad de instalaciones residenciales.	Todas	Entorno y Desarrollo
	8. Integración de la construcción en proyectos de desarrollo de ciudades-solares.	ST-PV	Entorno Manufactura y Desarrollo
	9. Vinculación sinérgica de proyectos ambientales y solares.	Todas	Manufactura y Desarrollo Instalación y Operación
	10. Desarrollo de la industria turística y de la entretención para una mayor captura de valor local a partir del gasto de los trabajadores temporales en la región.	Todas	Entorno y Desarrollo
	11. Desarrollo de fondos de capital de riesgo regionales para el financiamiento	Todas	Manufactura Desarrollo Instalación y Operación
	12. Atracción de inversión solar a la región.	Todas	Todas
	13. Mejorar difusión, conocimiento y vinculación de la banca con proyectos solares.	Todas	Entorno y desarrollo

	3) Desarrollo de mercado
Descripción	El desarrollo de un Cluster Solar en Antofagasta requiere de un mayor desarrollo y conocimiento del mercado objetivo de cada etapa del sistema de valor. En este sentido, al generar un mayor mercado para la industria solar, ya sea fotovoltaica, solar térmica o de concentración, permite un mayor beneficio y/o una mayor penetración de los actores involucrados o nuevos entrantes.
Objetivo	Desarrollar, difundir y aumentar los nichos específicos de mercado dentro de las etapas del sistema de valor de la industria solar, para las distintas tecnologías y aplicaciones existentes. Esto significa, explorar mercados extranjeros, locales y nacionales, donde existan oportunidades para generar y capturar valor dentro de la región de Antofagasta.

Iniciativas		Tecnología asociada	Etapas en el sistema de valor
	1. Desarrollo segmentado del mercado: residencial y de ciudades solares, público-solar, minero-solar, astronomía-solar, eco-turismo-solar.	Todas	Desarrollo y entorno
	2. Exportación solar: energía, servicios de desarrollo e implementación, equipos.	Todas	Desarrollo Instalación y Operación
	3. RSE y RSP para promover el desarrollo de proyectos que capturen valor para la región mediante compras empresas privadas y organismos públicos.	Todas	Manufactura Desarrollo Instalación y Operación
	4. Compras de gobierno de tecnología solar.	Todas	Manufactura Desarrollo Instalación y Operación
	5. Proyección estratégica y difusión de la demanda asociada a proyectos de inversión y desarrollo definidos.	Todas	Manufactura/Desarrollo/ Instalación/Operación

4) Entorno favorable para el desarrollo de la industria			
Descripción	El desarrollo de un Cluster Solar en Antofagasta requiere de un esfuerzo continuo para mejorar la calidad de vida de la región para atraer personal altamente calificado. Esto se traduce en un desarrollo de la infraestructura pública-privada, mejoras continuas en servicios de salud, educación y servicios sociales básicos para la comunidad local y mejoramiento de los estándares ambientales.		
	Potenciar el desarrollo de la infraestructura y los servicios sociales para aumentar el atractivo en la región.		
Objetivo		Tecnología asociada	Etapas en el sistema de valor
	1. Desarrollo de la infraestructura para la competitividad y la calidad de vida.	Todas	Análisis de entorno
	2. Cobertura y calidad en la educación, salud y servicios sociales básicos, para los distintos segmentos de la población.	Todas	Análisis de entorno
	3. Desarrollo del atractivo de la Región para vivir, considerando las necesidades de los diferentes segmentos de la población.	Todas	Análisis de entorno

5) Ciencia, tecnología e innovación para la competitividad			
Objetivo	Descripción	Actualmente, existen diversos focos de investigación y desarrollo entorno a la industria solar a lo largo de Chile, sin una especial concentración en la región de Antofagasta. A pesar de los esfuerzos para el desarrollo local es un hecho que la industria solar que se está estableciendo en el norte de Chile se abastece de insumos internacionales en su mayor parte, con la firme convicción de que en Chile falta desarrollo tecnológico que permita incluir la industria nacional en los proyectos de energía solar eléctrica y térmica. Por lo tanto, para darle sustentabilidad a un cluster solar en la región de Antofagasta se hace necesario potenciar el desarrollo de la ciencia, investigación e innovación respecto a lo que abarca el grupo Balance de Sistema (BoS) de la cadena de valor solar. Las repercusiones de esta línea de acción no son sólo locales, ya que haciendo esto Chile amplía su economía dentro del sector industrial secundario, lo cual fortalece la economía nacional. Esta línea de acción contempla mejorar los vínculos entre centros de I+D+i con la industria presente, aumentar la concentración de centros I+D+i en la región de Antofagasta a través de la selectividad estratégica de recursos asignados a este ítem y busca una mayor participación de las Pymes regionales vinculadas a la industria solar.	
		Integrar el sector Innovación, ciencia y tecnología hacia el sector secundario de la industria con foco en la energía solar, para satisfacer la demanda local procurando a la vez un buen desarrollo con miras a competir dentro del mercado mundial de tecnologías de la industria solar	
Iniciativas		Tecnología asociada	Etapas en el sistema de valor
	1. Vinculación entre instituciones, centros y empresas nacionales e internacionales para el desarrollo de I+D+i conjunta.	Todas	Manufactura de equipos, O&M
	2. Atracción de centros de excelencia de nivel internacional en I+D+i empresariales e institucionales para que se instalen en la región.	Todas	Manufactura de equipos
	3. Posicionamiento de la región como un núcleo de desarrollo mundial de la industria solar.	Todas	Todas
	4. Fortalecimiento y desarrollo de capacidades de personal, equipamiento e infraestructura de I+D+i con selectividad estratégica regional y solar y orientadas a lograr impactos contundentes.	Todas	Manufactura de equipos, Desarrollo de proyectos
	5. Fortalecimiento y desarrollo de capacidades competitivas de absorción de tecnologías en las PYMES	FV y TS	Desarrollo de proyectos e implementación
	6. Fomento a la I+D+i de alto impacto con selectividad estratégica solar y regional.	Todas	Manufactura de equipos, Desarrollo de proyectos
	7. I+D+i selectiva en temas clave: Soluciones a problemas de estabilidad, estudios del comportamiento de la tecnología en el largo plazo, I+D en el impacto de las condiciones locales en el desempeño y vida útil de los equipos	Todas	Todas

	(condiciones climatológicas, de suelo y geográfica del norte del país en combinación de las particularidades del efecto de la operación minera en los sistemas), desarrollo de sistemas de anclajes apropiados para el terreno.		
--	---	--	--

	6) Fortalecimiento de capital humano		
Descripción	En el desarrollo de los grandes proyectos solares dentro de Chile se ha percibido gran participación de mano de obra extranjera, sobre todo en las etapas de desarrollo e implementación y de construcción y puesta en marcha, considerando la cadena de valor identificada. Esto representa un indicador referente a carencia de mano de obra local para satisfacer la demanda actual. En principio, esto puede deberse a que la mano de obra local disponible no cumple las expectativas de las empresas que se asientan en la región o puede deberse a que simplemente no hay la cantidad suficiente, ya que el rubro de la minería absorbe gran parte de la fuerza de trabajo. Sea como fuere, se hace necesario incrementar en número y profundidad la especialización del capital humano presente en la región de Antofagasta. Para lograrlo, esta línea de acción propone atraer capital humano técnico y avanzado a la región con programas de especialización y de post grado, con financiamiento selectivo en el área y la región para estos programas y con políticas que faciliten la entrada de extranjeros especializados a la región con los cuales pueda realizarse un intercambio positivo y duradero de conocimientos.		
Objetivo	Ampliar en número y dimensiones el capital humano regional, tanto el concerniente al nivel técnico como el avanzado para, por un lado, satisfacer la demanda actual de mano de obra con gente local y por otro lado satisfacer la demanda futura que se estima creciente y desarrollar la empleabilidad del sector I+D+i a nivel local y nacional		
Iniciativas		Tecnología asociada	Etapas en el sistema de valor
	1. Formación y atracción de capital humano avanzado en la región. a. Programas de formación de post grado b. Financiamiento de becas de post grado con selectividad en el área y la región. c. Fomento a la instalación de capital humano avanzado en la región. d. Acuerdo con extranjería para agilizar los trámites de visa de trabajo.	Todas	Todas
	2. Formación y atracción de técnicos y especialistas en la región. a. Programas de formación de técnicos y especialistas. b. Financiamiento de becas para técnicos y especialistas con selectividad en el área y la región. c. Programas de formación continua, reconversión y certificación de competencias de técnicos y especialistas. d. Fomento a la instalación de personal técnico y especializado en la región. e. Acuerdo con extranjería para agilizar los trámites de visa de trabajo.	Todas	Todas

Posteriormente, para cada una de las líneas de acción estratégicas se evalúan las etapas de la planificación para distintas variables, en distintos horizontes de definición del cluster solar: Creación de capacidades, Desarrollo y Consolidación.

4.7 ESTRATEGIA DE IMPLEMENTACIÓN PARA EL DESARROLLO DE UN CLUSTER DE ENERGÍA SOLAR EN LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA

La estrategia de implementación del cluster en la región de Antofagasta puede ser visualizada desde un enfoque aguas abajo y/o aguas arriba en el sistema de valor de la industria, como se presenta en la siguiente figura.

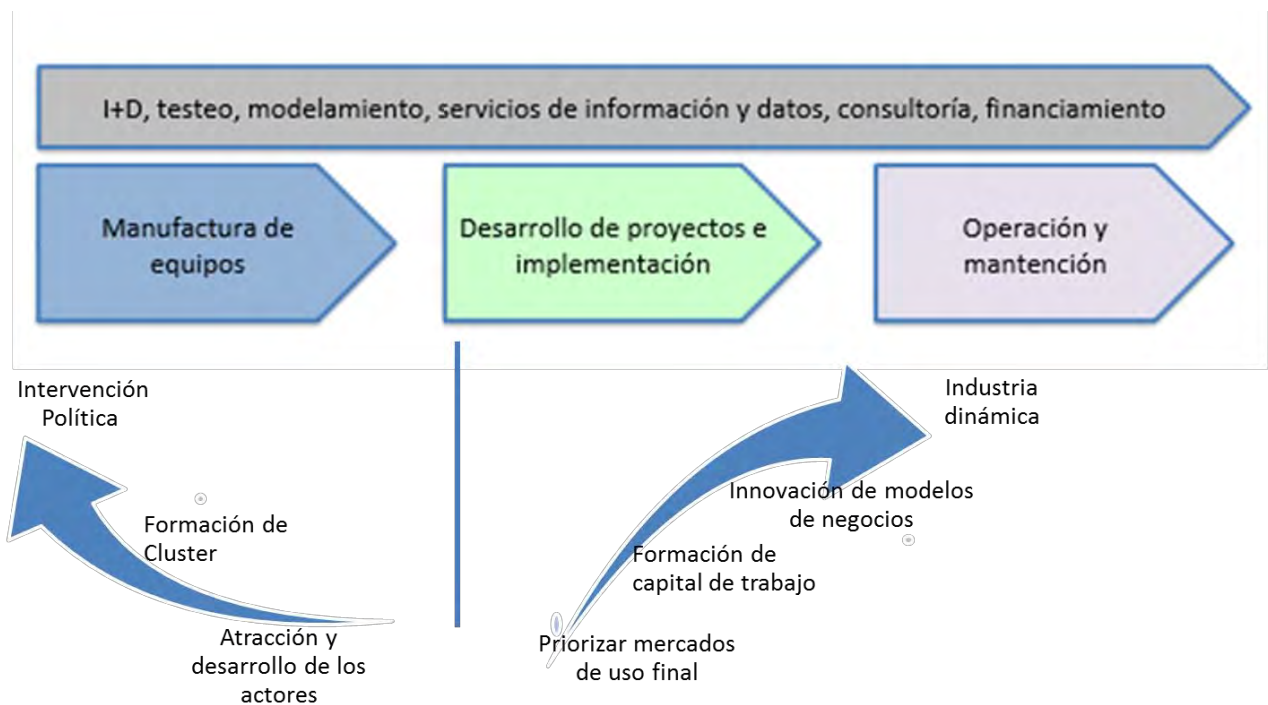


Figura 39: Estrategia de implementación del cluster en la región de Antofagasta

En el caso del enfoque aguas abajo, se busca intervenir en las actividades que apuntan a ganar algún espacio en la manufactura de equipo, a partir de la atracción y desarrollo de actores relevantes (de la industria y la investigación), la formación del cluster y la intervención en términos políticos.

En el enfoque aguas arriba se busca influir en el desarrollo de proyectos y en las actividades de operación y mantención. Para ello se empieza por priorizar mercados de uso final, aportar en la formación de capital de trabajo, apoyar la innovación en modelos de negocios, buscando avanzar hacia una industria dinámica que genere y capture valor agregado para la región.

De acuerdo a las líneas de acción definidas previamente, a continuación se presentan distintos elementos que se han considerado en la implementación de cada una de ellas.

Previo a ello, dada la recomendación de la contraparte, es interesante analizar las relaciones actuales de los distintos actores de la región, su grado de involucramiento con la industria, redes existentes, etc., de manera que sea útil en direccionar los esfuerzos para potenciar el cluster. En este sentido, la Universidad de Antofagasta y la Universidad Católica del Norte juegan un rol muy importante en los aspectos técnicos y de investigación, y han mostrado una gran disposición a desarrollar iniciativas de colaboración en temas complementarios, lo que es una gran ventaja en un comienzo, de manera que no se generen disputas por espacios de interés.

La Universidad de Antofagasta es parte del SERC, que trabaja los aspectos de posicionar la plataforma solar como laboratorio central para el desarrollo de la estrategia solar a escala país, que es uno de los ejes principales para el éxito del cluster solar.

Por otra parte, a nivel político existen actores relevantes a nivel del Senado (senador Alejandro Guillier), iniciativas como el Movimiento Pro Desarrollo Regional, entre otros, que han generado consenso entre actores industriales, académicos y ciudadanía en general en la región, lo que es de un gran beneficio para el desarrollo del cluster, dado el apoyo que ello presupone.

Otras iniciativas como CREO Antofagasta, Calama Plus, entre otras, permiten dar visibilidad a las acciones de la región, además de mejorar el entorno requerido para el desarrollo de una industria solar de categoría mundial.

A nivel regional, es importante destacar que la región de Antofagasta a través de su Seremi de Energía y Economía se encuentra desarrollado acciones para diseñar un Programa Estratégico Regional para el Sector Energía de la Región de Antofagasta, que se espera cuente con una dimensión de impulso de las ERNC, donde la Energía Solar debería ser un eje central.

Cuadro 24: Etapas de la planificación estratégica de Institucionalidad para la competitividad

Variable / Temporalidad	Creación de capacidades	Desarrollo	Consolidación
Duración	2015 – 2018	2018 - 2020	2025
Actores involucrados	Ministerio de Economía (Lidera), Ministerio de Energía, Ministerio del Medio Ambiente, CORFO nacional y regional, SEREMIAS, GOREs, SEC, SENCE, Asociaciones de Industriales, Centros de investigación, Empresas, SERNAGEOMIN, Universidades.	Gobierno Regional (lidera), Ministerio de Economía, SEREMIAS, CORFO regional, Asociaciones de Industriales, Centros de investigación, Empresas, SERNAGEOMIN, Universidades.	Gobierno Regional (lidera), SEREMIAS, Asociaciones de Industriales, Centros de investigación, Empresas, SERNAGEOMIN, Universidades.
Hitos y productos finales	Estudio comparado de acciones de gobierno en países competidores y definición de una política favorable para el cluster solar. Estudio de análisis de actores y de dimensionamiento de recursos para potenciar el cluster solar. Estudio de rediseño de procesos para apoyar la implementación de proyectos solares en la región.	Institucionalidad local desarrollada/capacitada Presupuesto regional y nacional asignado	Iniciativa de cluster solar establecida con institución líder y estructura de funcionamiento
Resultados esperados	Análisis en derecho y definición de propuestas, definición de política y reglamentación dentro del marco legal existente, definición de nuevas leyes. Definición de actores requeridos para la IC: articuladores, técnicos, políticos (locales y nacionales).	Institucionalidad local redefinida y con mayores capacidades en el contexto del cluster. Conjunto de trámite reestructurados y agilizados Creación de la figura del cluster. Financiamiento, actores, estructura, etc. Estimación costo inversión inicial y costo de operación anual	Convenio de financiamiento sustentable para disponer de recursos que permitan apoyar a actores que puedan catalizar procesos en universidades, otros.
Actividades relacionadas	Desarrollo de Plataforma Solar Trabajo conjunto de Centros de investigación Proyectos regionales de CONICYT, consorcios desarrollados, cluster minero. Iniciativas como CREO Antofagasta y Calama PLUS que buscan mejorar gobernanza.	Apoyo en generación de información costos de transacción, reducción de asimetrías de información. Rediseño de procesos asociados al desarrollo e implementación de	Desarrollo de nuevos proyectos de investigación aplicada, innovación y desarrollo de soluciones asociadas al cluster, que requieren apoyo de la IC. Misiones tecnológicas con

Variable / Temporalidad	Creación de capacidades	Desarrollo	Consolidación
		proyectos.	empresarios y universidades a clusters de interés.
Indicadores de resultados/proceso	Número de actores participantes en la definición de la Iniciativa de Cluster	Presupuesto asociado a campañas de difusión, marketing y articulación de actores.	Número de proyectos anuales que apoya la IC. Recursos asignados anualmente
Recursos claves: - Alianzas estratégicas deseables	Alianzas con: • IC de cluster internacionales • Centros de investigación (SERC, Fraunhofer, otros).	Alianzas con equipos expertos en articulación de actores (consultores o capacidades internas de la IC)	Alianzas con: • Equipos expertos en articulación de actores (consultores o capacidades internas de la IC)
Consistencia con políticas e instrumentos vigentes	Uso de fondo de bienes públicos y recursos instituciones públicas Uso de recursos instituciones públicas (SEREMI o GORE) como el Programa Transferencia de Competencias a GOREs. Recursos del FONDAP, Centros de Excelencia, otros y complemento a través de Incentivo Tributario a la Inversión en I+D, FNDR o Programa Transferencia de Competencias a GOREs Actividades de difusión a través de Programas de Difusión Tecnológica	Uso de recursos instituciones públicas (SEREMI o GORE) como el Programa Transferencia de Competencias a GOREs. Complemento a Centros de investigación a través de Incentivo Tributario a la Inversión en I+D, FNDR, otros.	Uso de recursos instituciones públicas (SEREMI o GORE) como el Programa Transferencia de Competencias a GOREs. Complemento a Centros de investigación a través de Incentivo Tributario a la Inversión en I+D, FNDR, otros.
Nuevos instrumentos requeridos	Apoyo a la agilización de los trámites públicos en el desarrollo de proyectos. Selectividad de instrumentos orientados al mejoramiento institucional.	Subsidios a la mantención de institucionalidad que apoya la sustentabilidad del cluster Apoyo a la agilización de los trámites públicos en el desarrollo de proyectos Selectividad de instrumentos orientados al mejoramiento institucional.	Subsidios a la mantención de institucionalidad que apoya la sustentabilidad del cluster Apoyo a la agilización de los trámites públicos en el desarrollo de proyectos

Cuadro 25: Etapas de la planificación estratégica Desarrollo Industrial

Variable / Temporalidad	Creación de capacidades	Desarrollo	Consolidación
Duración	2015 – 2018	2019 – 2026	2027
Actores involucrados	Desarrolladores de proyectos solares, Instituciones educativas, Laboratorios, Instituciones Financieras, Gobierno Regional, Municipalidades de la región, Empresas de la industria solar a través de ACESOL, ACERA y ANESCO.	Centros de investigación, Empresas del sector solar, instituciones financieras, Gobierno Regional, Municipalidades de la región.	Empresas del sector solar, instituciones financieras. Municipalidades de la región.
Hitos y productos finales	Acuerdos entre privados y centros de investigación y universidades para la cooperación. Acuerdos para la implementación de planta piloto de ensamble y producción de módulos. Acuerdos entre empresas desarrolladoras de energía solar a gran escala con instituciones financieras y crecimiento de sociedad de garantía recíproca.	Estudio de exportación de energía eléctrica solar. Estudio de aplicaciones solares para el almacenamiento de energía en sales, en agua y en hidrógeno. Líneas de interconexión con diferentes países de Latinoamérica. Estudio de reciclaje y reutilización de paneles solares.	Exportación de energía solar a países de Latinoamérica para explotar diferentes nichos de mercado.
Resultados esperados	Consortios establecidos entre empresas y universidades para realizar actividades en conjunto. Plantas pilotos de producción de módulos específicos para la región a nivel pre comercial. Integración a nivel piloto de proyectos solares integrados en la construcción de infraestructura dentro de la ciudad para impulsar “Ciudades solares”	Plantas comerciales de producción de módulos y piezas para las condiciones ambientales y climáticas de la región. Desarrollo y masificación de “Ciudades solares” en la región para distintas comunas y localidades rurales. Exportación de servicios de energía solar.	Aplicaciones solares comerciales de almacenamiento de energía en base a energía solar para grandes y pequeños proyectos.

Variable / Temporalidad	Creación de capacidades	Desarrollo	Consolidación
Actividades relacionadas	Difusión del potencial energético solar en la región. Creación de capacidades y centros de certificación para instalaciones y productos solares.	Difusión del potencial energético solar en la región. Subsidios a proyectos de pre inversión. Desarrollo del turismo de proyectos solares en la región para la atracción y la captura de valor.	Difusión del potencial energético solar en la región. Consolidación y mantenimiento de la actividad turística de proyectos solares en la región.
Indicadores de resultados/proceso	Capacidad solar y desempeño por cada “ciudad solar” a desarrollar. Unidades de producción y nivel de calidad de las plantas pilotos a implementar.	Penetración de energía solar en la región a gran y media escala. Captura de valor local asociado a los servicios de cada proyecto solar. Exportación de equipos solares versus equipos desarrollados localmente.	Penetración de energía solar en la región a gran, media y pequeña escala. Número de empresas creadas relacionadas a energía solar en la región. Captura de valor local asociado a los servicios de cada proyecto solar Exportación de equipos solares versus equipos desarrollados localmente.
Recursos claves: - Alianzas estratégicas deseables	Alianza entre Universidades de la región con empresas para la colaboración tecnológica en laboratorios naturales para diferentes tecnologías solares	Alianza entre empresas solares y servicios anexos y el sector minero e industrial, alianza entre universidades y centros de investigación.	
Consistencia con políticas e instrumentos vigentes	Instrumentos de CORFO de creación de consorcios y subsidios de pre inversión. Programa de Difusión Tecnológica Regional, CORFO Programa de Apoyo a Centros Chile Emprende, CORFO Programa de Difusión Tecnológica (PDT) Instrumentos para el fomento de emprendimiento de pequeños actores solares.	Instrumentos para el fomento de emprendimiento de pequeños actores solares. Programa Nodos para la Competitividad, CORFO	
Nuevos instrumentos requeridos	Subsidio de pre inversión para proyectos residenciales fotovoltaicos.	Subsidio de pre inversión para proyectos residenciales FV	

Cuadro 26: Etapas de la planificación estratégica Desarrollo de mercado

Variable / Temporalidad	Creación de capacidades	Desarrollo	Consolidación
Duración	2015 – 2018	2018 – 2024	2025
Actores involucrados	Desarrolladores de proyectos solares, Instituciones Financieras, Gobierno Regional, Municipalidades de la región, Empresas de la industria solar a través de ACESOL, ACERA y ANESCO. Entidades o sociedades de garantía recíproca. SERNATUR	Desarrolladores de proyectos solares, Instituciones Financieras, Gobierno Regional, Municipalidades de la región, Empresas de la industria solar a través de ACESOL, ACERA y ESCO. Entidades o sociedades de garantía recíproca. SERNATUR.	Empresas del sector solar. Instituciones financieras y sociedades de garantía recíproca. SERNATUR.
Hitos y productos finales	Desarrollo de consorcios entre empresas privadas y centros de investigación. Creación y masificación de sociedades de garantía recíproca para crear e impulsar nuevos actores para diferentes nichos de mercado.	Desarrollo de consorcios entre empresas privadas y centros de investigación. Estudios de exportación de servicios solares para países de Latinoamérica.	
Resultados esperados	Consortios y asociaciones de empresas enfocadas a nichos específicos dentro de la industria de mediana y pequeña escala solar.	Exploración de nichos de mercado y exportación de servicios de pequeña y mediana escala para países de Latinoamérica.	Exportación de servicios de pequeña y mediana escala para países de Latinoamérica.
Actividades relacionadas	Difusión del potencial energético solar en la región. Compas del gobierno de tecnología solar y aplicaciones y adquisiciones para la infraestructura pública. Reconocimiento de la comunidad y gobierno regional con premios de RSE a empresas que realicen proyectos solares	Difusión del potencial energético solar en la región. Compas del gobierno de tecnología solar y aplicaciones y adquisiciones para la infraestructura pública. Reconocimiento de la comunidad y gobierno regional con premios de RSE a empresas que realicen proyectos solares	Difusión del potencial energético solar en la región. Reconocimiento de la comunidad y gobierno regional con premios de RSE a empresas que realicen proyectos solares
Indicadores de resultados/proceso	Indicadores de desempeño energético solar de forma segmentada del mercado: residencial, público-solar, minero-solar, astronomía-solar, eco-turismo-solar, etc. Número de empresas que impulsan	Penetración de energía solar en la región en media y pequeña escala. Número de empresas creadas relacionadas a energía solar en la región Captura de valor local asociado a los servicios	Penetración de energía solar en la región en media y pequeña escala. Captura de valor local asociado a los servicios de cada proyecto solar.

Variable / Temporalidad	Creación de capacidades	Desarrollo	Consolidación
	proyectos solares como RSE en sus actividades. Capacidad e indicadores energéticos asociados a las adquisiciones públicas de energía solar.	de cada proyecto solar. Exportación de equipos solares versus equipos desarrollados localmente. Capacidad e indicadores energéticos asociados a las adquisiciones públicas de energía solar.	Número de empresas creadas relacionadas a energía solar en la región. Exportación de equipos solares versus equipos desarrollados localmente.
Recursos claves: - Alianzas estratégicas deseables	Alianza entre sociedades de garantía recíproca con entidades financieras para impulsar proyectos solares bajo la modalidad de modelos de negocio ESCO's. Alianzas entre empresas de la industria en general con centros de investigación y empresas solares. Alianza entre municipalidades con empresas conexas y pequeño actores solares.	Alianza entre sociedades de garantía recíproca con entidades financieras para impulsar proyectos solares bajo la modalidad de modelos de negocio ESCO's. Alianza entre empresas del rubro para aprovechar oportunidades de exportación de servicios de forma más competitiva.	Alianza entre empresas del rubro para aprovechar oportunidades de exportación de servicios de forma más competitiva.
Consistencia con políticas e instrumentos vigentes	Concurso Emprendedores Globales: Start-Up Chile Concurso Capital Semilla, InnovaChile Capital de Riesgo Corfo para Empresas Innovadoras Fondos de Garantía a Instituciones de Garantía Recíproca (IGR), Consortios Tecnológicos para la Innovación Concurso de Innovación en Energías Renovables	Concurso Apoyo a la Inversión en Zonas de Oportunidades. Garantía Corfo Comercio Exterior Garantía Corfo Inversión y Capital de Trabajo Garantía Corfo Reprogramación, Prototipos de Innovación Empresarial, Fondos de Garantía a Instituciones de Garantía Recíproca (IGR), entre otras.	Concurso Emprendedores Globales: Start-Up Chile Concurso Capital Semilla, InnovaChile Capital de Riesgo Corfo para Empresas Innovadoras Fondos de Garantía a Instituciones de Garantía Recíproca (IGR), entre otras.

Cuadro 27: Etapas de la planificación estratégica Entorno favorable para el desarrollo de la industria

Variable / Temporalidad	Creación de capacidades	Desarrollo	Consolidación
Duración	2015 – 2020	2020 – 2026	2027
Actores involucrados	Inmobiliarias, instituciones financieras, Constructoras, Ministerio de Salud y Medio Ambiente. Ministerio de Cultura. Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Instituciones educacionales, Gobierno Regional, Municipalidades de la región, Empresas de la industria solar a través de ACESOL, ACERA y ANESCO. Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. Ministerio del Interior.	Inmobiliarias, instituciones financieras, Constructoras, Ministerio de Salud y Medio Ambiente. Ministerio de Cultura. Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Instituciones educacionales, Gobierno Regional, Municipalidades de la región, Empresas de la industria solar a través de ACESOL, ACERA y ANESCO. Ministerio del Interior.	Empresas del sector solar, instituciones financieras. Municipalidades de la región. Inmobiliarias y constructoras.
Hitos y productos finales	Conectividad vial de calidad en las principales ciudades de la región para un desarrollo de la industria solar de alta competitividad Desarrollo y ampliación de las redes de telecomunicación para una mayor competitividad del sector solar tanto a pequeña como a mediana y gran escala.	Líneas de interconexión con diferentes países de Latinoamérica. Estudio de reciclaje y reutilización de paneles solares.	Exportación de energía solar a países de Latinoamérica para explotar diferentes nichos de mercado.
Resultados esperados	Barrios sustentables. Parques y plazas con aplicaciones solares. Mayor cobertura y beneficios de salud para trabajadores de la industria solar en la región. Mayor cobertura y beneficios para la educación de familias asociadas a la industria solar.	Barrios sustentables. Parques y plazas con aplicaciones solares. Mayor cobertura y beneficios de salud para trabajadores de la industria solar en la región.	Barrios sustentables. Parques y plazas con aplicaciones solares. Trabajadores de la industria solar y sus familias consolidados en la región de Antofagasta.
Actividades relacionadas	Difusión del potencial energético solar en la región. Difusión de la información sobre el desempeño de los proyectos solares en la infraestructura pública. Planificación territorial urbana	Difusión del potencial energético solar en la región. Planificación territorial urbana. Difusión de la información sobre el desempeño de los proyectos solares en la infraestructura pública.	Difusión del potencial energético solar en la región.

Variable / Temporalidad	Creación de capacidades	Desarrollo	Consolidación
Indicadores de resultados/proceso	Índice de conectividad de cada comuna de la región. Índice de calidad de vida de cada comuna de la región Índice de escolaridad de cada comuna de la región. Porcentaje de la población con ISAPRE	Penetración de energía solar en los edificios de salud y educación Índice de calidad de vida de cada comuna de la región Índice de escolaridad de cada comuna de la región. Porcentaje de la población con ISAPRE	Índice de calidad de vida de cada comuna de la región Índice de escolaridad de cada comuna de la región. Porcentaje de la población con ISAPRE
Recursos claves: - Alianzas estratégicas deseables	Alianza entre empresas solares y servicios anexos con el sector inmobiliario. Alianzas entre empresas de servicios conexos de la industria solar.	Alianza entre empresas solares y servicios anexos con el sector inmobiliario. Alianzas estratégicas entre empresas solares y constructoras.	
Consistencia con políticas e instrumentos vigentes	Fondo Social Presidente de la República del Ministerio del Interior. Fondo de Fortalecimiento de las Organizaciones de Interés Público	Fondo de Fortalecimiento de las Organizaciones de Interés Público Fondo I.D.E.A. de FOSIS.	Programa de Fortalecimiento de la Identidad Regional. Fondo I.D.E.A. de FOSIS. Fondo Social Presidente de la República del Ministerio del Interior.

Cuadro 28: Etapas de la planificación estratégica Ciencia, tecnología e innovación para la competitividad

Variable / Temporalidad	Creación de capacidades	Desarrollo	Consolidación
Duración	2015 - 2017	2018 - 2022	2022
Actores involucrados	Investigadores y académicos, Universidades (Universidad de Antofagasta, Universidad Católica del Norte, DUOC e INACAP de Antofagasta), Centros de investigación (Fraunhofer, SERC), Red de empresas del rubro (ACESOL, otras)	Universidades, Centros de investigación, Empresas de la industria solar (pequeñas, medianas y grandes), Gobierno Regional	Universidades, Centros de investigación, Empresas de la industria solar (pequeñas, medianas y grandes)
Hitos y productos finales	Formación de grupo de trabajo. Estudio del estado del arte de las líneas de investigación. Creación de programas de investigación y	Comienzo de primeros estudios, primeras publicaciones científicas enmarcadas dentro del cluster,	Construcción de parques solares innovadores. Renovación de espacios de investigación.

Variable / Temporalidad	Creación de capacidades	Desarrollo	Consolidación
	desarrollo. Adquisición de equipos y espacios necesarios.	acuerdos de cooperación entre industria y centros de investigación, evaluaciones del desarrollo (anual). Aumento de publicaciones científicas y patentes, programas piloto de inserción en la industria	Grupos de investigación consolidados desarrollando estudios, publicaciones científicas, patentes y aplicaciones en la industria basada en la investigación realizada
Resultados esperados	- Programas de investigación y desarrollo que guíen al cluster a liderar la competencia mundial de la industria solar. - Alianzas entre universidades nacionales. - Alianzas entre Universidades, centros de investigación y la industria.	- Atraer centros de investigación de nivel internacional - Contribuir a la comunidad científica internacional en temas solares. - Generar lazos de cooperación entre la industria y los centros de investigación. - Llenar todos los cupos destinados a investigación y desarrollo.	- Vínculo estrecho entre el desarrollo de la industria y las líneas de investigación - Inserción de la Región en el mercado solar mundial, de modo que sea vista como referente para el desarrollo de proyectos solares en diversas partes del mundo - Creación/desarrollo sist. solares innovadores y de clase mundial.
Actividades relacionadas	Reclutamiento de capital humano inicial. Estudio del estado del arte de las líneas de investigación actuales y de la tecnología necesaria relacionada. Cotización, evaluación y/o desarrollo de equipos necesarios y búsqueda de financiamiento. Planificación de programas de investigación	Difusión de programas de investigación, conferencias internacionales, plantas piloto basadas en la investigación desarrollada, elaboración de programas para la inserción a la industria	Conferencias internacionales, implementación de parques solares innovadores basados en la investigación desarrollada, publicaciones científicas
Indicadores de resultados/proceso	Monto invertido en equipos, monto invertido en programas de investigación	Número de publicaciones por cantidad de investigadores, crecimiento de la industria, aporte de la industria solar al PIB	Número de publicaciones por cantidad de investigadores, Número de citas a publicaciones dentro del cluster, crecimiento de la industria, aporte de la industria solar al PIB
Recursos claves: - Alianzas estratégicas deseables	Alianzas entre Universidades nacionales, entre Universidades y Centros de investigación, entre Centros de investigación y la Industria.	Alianzas entre Universidades nacionales e internacionales.	

Cuadro 29: Etapas de la planificación estratégica Fortalecimiento de capital humano

Variable / Temporalidad	Creación de capacidades	Desarrollo	Consolidación
Duración	2015 – 2017	2018 - 2020	2020
Actores involucrados	Investigadores, académicos y desarrolladores de proyectos solares, Instituciones educacionales (Universidad de Antofagasta, Universidad Católica del Norte, DUOC e INACAP de Antofagasta, colegios de la región), Centros de investigación (Fraunhofer, Plataforma Solar), Gobierno Regional, Municipalidades de la región, Ministerio de Educación, Empresas de la industria solar a través de ACESOL (por ejemplo).	Académicos y/o investigadores, Instituciones educacionales, Centros de investigación, Empresas del sector solar	Académicos y/o investigadores Instituciones educacionales, Centros de investigación, Empresas del sector solar
Hitos y productos finales	Agrupación de masa crítica encargada de elaborar los programas. Creación de programas de estudio para los niveles técnicos, profesionales y avanzados. Creación de convenios entre entidades educativas, centros de investigación y el sector industrial Programas de capacitación técnica, profesional y avanzada	Ejecución de los programas realizados. Primeros técnicos formados. Egresados técnicos y estudiantes profesionales de pre y post grado en curso	Integración del capital humano formado a la industria local Egresados técnicos y profesión de pre y post grado
Resultados esperados	Programas atractivos que permitan suplir la demanda de mano de obra a corto, mediano y largo plazo, con miras a formar gente competitiva a nivel nacional e internacional	Integración de los egresados al sector productivo	Integración de los egresados al sector productivo, de desarrollo de proyectos y al área de investigación. Egresados emprendedores que fortalezcan y amplíen industria local
Actividades relacionadas	Llamado a formar equipo generador de programas. Mesas de discusión entre actores involucrados. Creación de programas. Reclutamiento de académicos. Difusión de programas. Fijar convenios de prácticas en industria para cooperación conjunta.	Difusión de programas y carreras. Mesas de discusión entre actores involucrados para evaluar el desarrollo.	Difusión de programas y carreras. Evaluación y/o reestructuración de los programas y carreras en conjunto con la industria y los centros de investigación.
Indicadores de resultados/proceso	Comparación de programas creados v/s programas que ofrecen otros cluster de nivel mundial	Empleabilidad de cada programa, penetración de la energía solar en sectores PRC	Empleabilidad de cada programa, crecimiento de la industria local, penetración de la energía solar en sectores PRC

Variable / Temporalidad	Creación de capacidades	Desarrollo	Consolidación
Recursos claves: - Alianzas estratégicas deseables	Alianza entre institutos y sector industrial, alianza entre universidades y centros de investigación.	Alianza entre institutos y sector industrial, alianza entre universidades y centros de investigación	Alianza entre institutos y sector industrial, alianza entre universidades y centros de investigación

4.8 EVALUACIÓN ECONÓMICA PRIVADA Y SOCIAL DE LAS LÍNEAS ESTRATÉGICAS

A continuación se presenta la evaluación del costo de las líneas estratégicas propuestas, la que se resume en el siguiente cuadro. El detalle de la evaluación de cada una de las iniciativas estratégicas correspondientes se presenta en el anexo digital “Evaluación Líneas de Acción final”.

En el cuadro siguiente se resumen los principales supuestos utilizados para el desarrollo de las evaluaciones, las que se pueden ver en detalle en el anexo mencionado.

Supuesto	Valor	Fuente
Tasa de Descuento	10%	
Empleo PV Inversión (Puestos/MW)	17,9	IRENA (2013)
Empleo PV O&M (Puestos /MW)	0,3	IRENA (2013)
Empleo CSP Inversión (Puestos /MW)	18	IRENA (2013)
Empleo CSP O&M (Puestos / MW)	1,33	IRENA (2013)
Vida útil plantas (años)	30	Opinión experta
Costo empleo construcción (USD)	\$ 1.600	IRENA (2013)
Costo empleo O&M (USD)	\$ 1.300	IRENA (2013)
Captura Valor Trabajo (%Local/Total)	10%	
Fracción Servicios de cada proyecto (%)	30%	POCH Y SUNSHOT
Captura de Valor Servicios (%Local/Extranjero)	5%	Estudio GIZ (2014)
Proyectos Pequeña Escala		
Potencia media PV(kW)	1,2	MAPS-Chile (2013)
Potencia media ST(kW)	3	MAPS-Chile (2013)
Factor de planta PV y ST	22%	MAPS-Chile (2013)
Coeficiente Penetración Pequeña Escala	0,0005	MAPS-Chile (2013)
Fracción Servicios de cada proyecto pequeña Escala (%)	50%	
Captura de valor Servicios Locales (%)	20%	ACESOL

Cuadro 30: Costos Implementación Estrategia de Cluster Solar Antofagasta (millones de USD)

Línea de Acción	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
1	1,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
2	56,2	56,2	53,7	53,7	33,7	29,2	27,9	27,9	9,9	9,9	4,3	4,3	4,1	4,1	4,1	4,1	3,1	3,1	3,1
3	6,6	6,6	6,6	37,6	37,6	37,6	37,3	34,8	34,8	34,8	33,2	33,2	33,2	33,2	33,2	33,2	0,0	0,0	0,0
4	35,0	35,0	35,0	25,0	25,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,0	0,0	0,0
5	77,2	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	9,5	9,5	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1
6	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7	0,4	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Total	177,3	119,5	117,0	138,0	118,0	89,0	87,5	85,1	55,7	55,8	48,2	48,2	48,0	48,0	47,1	47,1	12,4	12,4	12,4

En este caso, el Valor Actualizado (a una tasa de descuento del 10%) de este flujo de costos corresponde a 782,5 millones de USD.

Como se aprecia en la subsección anterior y en el anexo digital “Evaluación Líneas de Acción final”, para la implementación de muchas de las iniciativas se utilizan diversos instrumentos públicos disponibles en el país, a través de distintas instituciones de fomento. En el anexo digital “Instrumentos de Fomento” se puede observar la lista extensiva de los mismos, con sus principales atributos.

Luego, dado el uso de estos recursos públicos, se ha estimado una inversión actualizada del Gasto en Instrumentos del Estado (en millones de USD) correspondiente a 469,5. Ella ha sido descontada con la tasa social de descuento⁵⁹ del 7%.

Por último, a continuación se presenta la evaluación de tres escenarios de penetración de energía solar en el contexto del desarrollo del cluster solar de Antofagasta. Ellos corresponden a:

- Escenarios Línea Base (sin cluster): Básicamente cumple con la ley de ERNC del 20/25⁶⁰.
- Escenario Intermedio: Corresponde a un escenario más exigente, que llega a una tasa del 30/25⁶¹.
- Escenario 30/33: Corresponde a la visión del SERC, donde el 30% del consumo de Latinoamérica proviene de energía solar al 2033. Ello implica 200.000 MW de potencia en el norte de Chile a esa fecha.

En el cuadro siguiente se presenta un resumen de indicadores, evaluados de manera privada y social, que resume los resultados de la evaluación económica de cada uno de los escenarios.

Cuadro 31: Indicadores de evaluación privada y social de los escenarios para la estrategia de cluster solar

Resumen de Indicadores	Línea Base		Esc. Intermedio		Esc. 30/33	
	10%	7%	10%	7%	10%	7%
Tasa de Descuento						
Costo Total del Escenario (millones de USD)	3.516,4		15.347,7		291.357,5	
Costo por MW instalado (Millones de USD/MW)	1,9		1,9		1,5	
Costo Privado del Escenario (millones de USD)	3.516,4		14.923,6		290.933,6	
Costo Social del Escenario (millones de USD)				469,5		469,5
Valor agregado capturado del Escenario (millones de USD)	1.393,6	1.795,2	11.404,3	16.197,9	99.743,4	138.952,3
Valor agregado capturado por la región del Escenario (millones de USD)	85,5	116,6	4.333,9	6.144,5	33.745,5	46.781,7

⁵⁹ Tasa social de descuento promedio actualizado a marzo de 2014.

⁶⁰ De un 5% para el año 2013, incrementándose en un 1% anual a partir del año 2014 hasta alcanzar un 12% en el año 2020, aumentándose en un 1,5% anual a partir del año 2021 hasta alcanzar un 18% en el año 2024 e incrementándose en un 2% el año 2025 hasta llegar al 20%.

⁶¹ Se adelantan inversiones para llegar al año 2025 al 30%.

Es interesante observar que el costo social de los escenarios es relativamente bajo (470 millones de USD) y que tanto el país como la región podrían capturar rentas muy interesantes para los escenarios con cluster solar. En el caso nacional este varía entre 11.000 y 140.000 millones de USD y en el caso de la región de Antofagasta, entre 4.300 y 47.000 millones de USD.

El detalle de esta evaluación y los supuestos utilizados en cada escenario se presentan en el anexo digital “Evaluación estratégica final”. En el anexo se presentan además los costos de interconexión asociados al Escenario 30/33.

5 CONCLUSIONES

La región de Antofagasta posee un importante potencial para el desarrollo de la industria solar que es relevante a nivel nacional y mundial dadas las excelentes condiciones de radiación en el norte grande del país que permite una mayor producción de energía. Al mismo tiempo, en la región se localiza una alta demanda de energía térmica y eléctrica asociada al sector minero (87% y 84% respectivamente); además de un importante potencial de crecimiento residencial: Calama Solar, Antofagasta Solar, junto con la oportunidad que ofrece la trama productiva que se ha desarrollado como parte de la industria minera en la región.

El estudio define una propuesta para el desarrollo de un cluster solar en la región de Antofagasta concebida como una estrategia de desarrollo industrial traccionada por la demanda y habilitada por las condiciones de irradiación excepcionales de la región de Antofagasta. Como antecedente central para su formulación se definen las siguientes condiciones relevantes:

- La oportunidad de localizar proyectos de gran escala que alimenten con generación eléctrica a partir de energía solar el SING y eventualmente el país a partir de la interconexión del sistema.
- La proyección estratégica de crecimiento de la demanda por calor y electricidad vinculado al desarrollo minero y de industrias asociadas en la región norte del país.
- El potencial crecimiento del consumo de energía de la población y proyectos de ciudades solares con eslabonamientos hacia atrás a la industria proveedora de servicios de desarrollo e instalación y la importación o eventual manufactura de equipos.
- La oportunidad de conformar Antofagasta como un polo exportador de energía a los países limítrofes.
- La oportunidad de que existen instrumentos públicos de financiamiento para ciencia y tecnología, mejoramiento de capacidades de formación y capacitación en la región, para desarrollar prototipos y proyectos demostrativos entre otros. Todos temas críticos para el fortalecimiento del cluster.

La propuesta de cluster solar desarrollada para la región identifica y potencia las oportunidades de avalar la formación de consorcios minero-solares, ciudades-solares, público-solar, astronomía-solar, eco-turismo-solar que desarrollen soluciones técnicas a partir de la energía solar para estas industrias. Además, identifica y potencia proyectos que operen como pilotos y por lo tanto, con efecto demostración para el resto del país, aprovechando las excepcionales oportunidades de radiación con que cuenta la región, entre ellos iniciativas tipo solar-Calama, solar-Antofagasta y/o solar-Tocopilla. Este tipo de iniciativas potenciarán el desarrollo del mercado de auto generación residencial, industrial y comercial y el mercado de las compras públicas. Por otro lado, identifica y potencia mecanismos de colaboración entre la academia y la industria, aprovechando la oportunidad que ofrece la región como Laboratorio Natural para la energía solar.

En este sentido, el horizonte y declive potencial esperado de la minería, a partir del año 2030, puede jugar un rol complementario importante que potencie el desarrollo de la industria solar, a través de la reconversión de profesionales, uso de tecnologías y apoyo en la reducción de costos energéticos, que en la actualidad son uno de los costos más importantes de la industria minera.

Es fundamental para el desarrollo del cluster solar en la región basarse en tres ejes fundamentales que lo guíen. Primeramente, se requiere potenciar la Plataforma Solar del Desierto de Atacama como un eje estructurante del desarrollo de la investigación y desarrollo tecnológico nacional, con la distinción de la alta radiación existente en la zona, lo que puede ser una ventaja competitiva para Chile. Luego, se requiere desarrollar una Iniciativa de Cluster que se base en la gestión técnica de algún centro tecnológico que aglutine masa crítica de investigadores a nivel nacional (como el SERC) y en el que el Gobierno Regional juegue un importante rol de liderazgo. Por último, es fundamental contar con un grupo capaz de articular las relaciones entre los distintos estamentos que participarían del cluster (gobierno, sociedad civil, academia, industria, etc.) y que esta función sea desarrollada de manera permanente tanto por asesores, como por profesionales del cluster solar.

El potencial desarrollo de un cluster solar para la región de Antofagasta no contempla gastos desproporcionados por parte del Estado y si se avanza en el logro de capturar la mayor parte del valor agregado de los proyectos, a nivel nacional y en la región, se pueden conseguir rentas más que interesantes. En efecto, ello significa una inversión de 782,5 millones de USD (costo actualizado a una tasa de descuento del 10%) y para la implementación de muchas de las iniciativas se utilizan instrumentos públicos disponibles en el país, a través de distintas instituciones de fomento, para los que se ha estimado una inversión actualizada del Gasto en Instrumentos del Estado (en millones de USD) correspondiente a 469,5 (costo actualizado a una tasa social de descuento del 7%).

Se han definido tres escenarios de penetración de energía solar en el contexto del desarrollo del cluster solar de Antofagasta. Ellos corresponden a:

- Escenarios Línea Base (sin cluster): se cumple con la ley de ERNC del 20/25.
- Escenario Intermedio: corresponde a un escenario supuesto más exigente, que implica un cambio a la ley de ERNC, que llega a una tasa del 30/25.
- Escenario 30/33: corresponde a la visión del Solar Energy Research Center (SERC) , donde se proyecta que el 30% del consumo de energía eléctrica de Latinoamérica sea satisfecho a partir de energía solar al 2033. Ello implica la instalación de 200.000 MW de potencia en base a energía solar en el norte de Chile a esa fecha.

En el caso de estos escenarios, tanto el país como la región podrían capturar rentas muy interesantes para los casos con cluster solar. En el caso nacional esta captura de valor agregado varía entre 11.000 y 140.000 millones de USD y en el caso de la región de Antofagasta, entre 4.300 y 47.000 millones de USD.

Si bien existe una industria solar a nivel nacional, la presencia y las condiciones de Antofagasta son claves para el éxito de la misma, por lo que es imprescindible potenciar las capacidades regionales en todos los ámbitos descritos previamente, de manera que pueda cumplir este rol de piedra angular fundamental para el resto del país.

6 REFERENCIAS

- Abbot, Charles G. «On the Paper of The Constancy of the Solar Constant.» Smithsonian Contributions to Astrophysics; Vol. 3, N°3 (1958): 13-21.
- Ade Inversiones y Servicios, “Mapeo de las empresas del cluster de energía solar fotovoltaica en Castilla y León”. Julio de 2009.
- AETS Sudamérica S.A, para Comisión Nacional de Energía, “Diagnóstico de la Industria local asociada a servicios auxiliares en energías renovables no convencionales”, (2009). Disponible en: <https://dl.dropboxusercontent.com/u/3639762/estudiosClusterSolar/ESTUDIO%20ERNC%20AETS%20CNE.pdf>
- AIE, “Solar Energy Perspectives” (2011). Disponible: http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Solar_Energy_Perspectives_2011.pdf
- Aravena, Análisis de la operación interconectada de centrales eléctricas en base a tecnología fotovoltaica. Memoria para optar al título de ingeniero civil electricista. Junio 2012.
- Araya, 2013. Análisis, comparación y evaluación económica de tecnologías termosolares. Memoria para optar al título de ingeniero civil industrial. Universidad de Chile, enero 2013
- Arturo Alatrasta and Tristan Sloan. “The Atacama Solar Platform. Opportunities and Strategic Dilemmas for Building a World Class Solar Cluster in Chile. Master of Science Thesis, Department of Environmental Systems Analysis, Chalmers University of Technology, Sweden, 2010.
- AVINA, FARN, UBA, CEARE, ITBA. «Escenarios Energéticos Argentina 2011-2030.» 2011.
- Balance Energético Nacional 2010. <http://www2.hidrocarburos.gob.bo/index.php/balance-energetico-nacional.html>
- Banco Central, “Indicadores Macroeconómicos, Primer trimestre del 2014”, (2014)
- BASE, POCH, “Diagnóstico, Análisis de modelos de financiamiento y recomendaciones de coberturas y/o instrumentos de mitigación de riesgo para las energías renovables no convencionales (ERNC) en Chile”, (Julio 2012). Disponible en <http://www.minenergia.cl/documentos/estudios/2012/diagnostico-analisis-de-modelos-de.html>
- Bloomberg, 2014. H1 2014 Levelised Cost Of Electricity – FV, Jenny Chase, Bloomberg New Energy Finance, February 2014.
- Cámara Oficial Española de Comercio e Industria en Bolivia, “Datos Generales de Bolivia - Recursos: Energía”, Disponible: http://www.camara.com.bo/index.php?view=article&catid=47%3Abolivia&id=82%3Adatos-generales-de-bolivia&option=com_content&Itemid=74&limitstart=5
- Centro de Energía, Universidad de Chile, “Expansión de largo plazo para distintos

- escenarios de desarrollo de Energías Renovables No Convencionales (ERNC) en el Sistema Interconectado del Norte Grande (SING)", (2011). Disponible en: http://www.minenergia.cl/archivos_bajar/Estudios/EscenariosExpansion_SING_vf.pdf
- Centro de Energía, Universidad de Chile, "Sistemas de almacenamiento de energía para habilitar integración de ERNC", (Diciembre 2012). Disponible en: <http://www.minenergia.cl/documentos/estudios/2013/sistemas-de-almacenamiento-de-energia.html>
 - Centro de Energía, Universidad de Chile, Montedónico, M.; Palma, R., "Propuesta para la elaboración de la estrategia nacional de energía solar". (Diciembre 2013).
 - Centro de Energías Renovables, CORFO, "Impacto de la Ley Arica sobre el Desarrollo de una Industria Solar en Chile", (2011). Disponible en: <http://cer.gob.cl/archivos/LeyArica.pdf>
 - Centro de Energías Renovables, CORFO, "Reporte semestral Antena Tecnológica Solar Fotovoltaica", (Diciembre 2013). Disponible en: <http://cer.gob.cl/archivos/2014/enero/fichas/FV.pdf>
 - Centro de Energías Renovables, CORFO, "Reporte semestral Antena Tecnológica Concentración Solar de Potencia", (Diciembre 2013). Disponible en: <http://cer.gob.cl/archivos/2014/enero/fichas/csp.pdf>
 - CEP, Estudio Nacional de Opinión Pública No 63, Noviembre-Diciembre 2010. Disponible en: http://www.cepchile.cl/dms/archivo_4727_2868/encCEP_MedioAmbiente.pdf
 - CER, 2013. "Elaboración de Roadmap Tecnológico para el desarrollo de productos ERNC". Convenio de cooperación Centro de Energía – Centro de Energías Renovables. Elaborado por Centro de Energía FCFM Universidad de Chile, marzo de 2013.
 - CNE. 2013. <http://www.cne.cl/estadisticas/energia/hidrocarburos>.
 - Comisión de Integración Energética Regional (CIER), "Señales Regulatorias para la Rentabilidad e Inversión en el Sector Eléctrico: Generación, Transmisión y Distribución - Año 2010", Disponible: <https://sites.google.com/site/regulacionsectorelectrico/home>
 - Comisión de Integración Energética Regional (CIER). «Informe de Tarifas Eléctricas en Distribución.» 2012.
 - Comisión Nacional de Energía Atómica Argentina. «Síntesis Mercado Eléctrico Mayorista.» Buenos Aires, 2013.
 - Comisión Nacional de Energía. "Diagnóstico de la industria local asociada a servicios auxiliares en energías renovables no convencionales". Noviembre 2009.
 - Comisión Nacional de Energía. CNE. 2013. <http://www.cne.cl/estadisticas/energia/electricidad>.
 - Comité Nacional de Despacho de Carga (CNDC). Proyección de la demanda de energía eléctrica de largo plazo del SIN 2011 – 2022, Julio 2011.

- Concha, Miguel. «Grupo de Empresarios Impulsa Proyecto Eléctrico en el Norte por US\$330 millones.» Economía y Negocios Online (2013): 17 de Junio.
- Consejo Nacional de Innovación para la Competitividad, “Energía Solar. Chile puede tener un rol más protagónico en su desarrollo” (Noviembre del 2012). Disponible en: <http://www.cnlic.cl/index.php/presidente-del-cnlic-habla-de-innovacion-y-emprendimiento.html>
- Consejo Nacional de Innovación para la Competitividad, “Agenda de Innovación y Competitividad 2010-2020”, (2010). Disponible en: http://www.cnlic.cl/index.php/doc_details/1-agenda-innovacion-y-competitividad-2010-2020.html
- CORFO, 2011. “Servicios de gestión experta para la atracción de inversiones en la industria auxiliar de las Energías Renovables No Convencionales”. CORFO, 2011.
- CORFO-POCH, 2014. Estudio de Mercado Sobre Proveedores de Servicios Conexos a Generadoras de Energía Eléctrica Mediante Energías Renovables no Convencionales (ERNC) en las Regiones I, II, III, IV, y XV, POCH ambiental-CORFO. 28 de mayo de 2014.
- CORFO, 2014a. Oportunidades de negocios en los servicios conexos a las ERNC en el norte de Chile. Contexto de la industria ERNC. Tríptico CORFO, 2014.
- CORFO, Oportunidades de negocios en los servicios conexos a las ERNC en el norte de Chile. Contexto de la industria ERNC, (2014)
- Decreto con Fuerza de Ley N°1. Santiago, Chile : Diario Oficial, 1982.
- Durán, Valentina, GESCAM, “Proyectos de ERNC y Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental”, (2012). Disponible en: <http://www.gescam.cl/Actualidad/ERNC%20y%20SEIA%20VD%20Colegio%20Ingenieros%20Mes%20Energia.pdf>
- ECOFYSVALGESTA, para INNOVA-Chile CORFO, “Estudio de Energías Renovables no Convencionales”, (2009). Disponible en: <http://cer.gob.cl/archivos/INFORME %20FINAL ESTUDIO %20ERNC OCT09.pdf>
- Ernst and Young, “Renewable energy country attractiveness index”. (Junio 2014). Disponible en: [http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/Renewable_Energy_Country_Attractiveness_Index_41_-_June_2014/\\$FILE/EY-Renewable-Energy-Country-Attractiveness-Index-41-June-2014.pdf](http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/Renewable_Energy_Country_Attractiveness_Index_41_-_June_2014/$FILE/EY-Renewable-Energy-Country-Attractiveness-Index-41-June-2014.pdf)
- Escenarios Energéticos. «Escenarios Energéticos Chile 2030.» 2013.
- EVALUESERVE Research, “Consultoría Estratégica en Promoción de Chile como Asentamiento para la Industria de Servicios Conexos de las ERNC”, (2009). Disponible en: <https://dl.dropboxusercontent.com/u/3639762/estudiosClusterSolar/Evalueserve%20-%20CORFO%20-%20Servicios%20Conexos%20de%20las%20ERNC%20-%20Informe%20Final%20-%202014%20de%20Diciembre%202009%20%282%29.pdf>

- FCFM, U. de Chile, “Generación de Energía Eléctrica con Fuentes Renovables,” 2010.
- Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE. Levelized Cost of Electricity Renewable Energy Technologies. Study Edition: November 2013.
- Fthenakis, V. et al. “Prospects for Photovoltaics in Sunny and Arid Regions: A Solar Grand Plan for Chile –Part I– Investigation of FV and Wind Penetration”. IEEE FV Specialist Conference. 2014.
- Gobierno de Chile, “Agenda de Productividad, Innovación y crecimiento” (2014). Disponible en: <http://www.agendaproductividad.cl/wp-content/uploads/2014/05/Agenda-de-Productividad-Innovacion-y-Crecimiento.pdf>
- Gobierno de Chile, “Resumen de medidas Agenda de Productividad, Innovación y crecimiento” (2014). Disponible en: <http://www.agendaproductividad.cl/>
- Hax, A. (2009). The Delta Model: Reinventing Your Business Strategy, Springer.
- Hirschmann, Julio. «Evaporateurs et Distillateurs Solaires au Chili.» UN Conference on New Sources of Energy Vol. 6. Rome: United Nations, 1961. 224-236.
- http://www.energypress.com.bo/index.php?cat=327&pla=3&id_articulo=6058#U-JITmO9ZB8
- IEA, 2013. Trends 2013 in photovoltaic applications. Survey Report of Selected IEA Countries between 1992 and 2012. Report IEA-PVPS T1-23:2013
- Índice de Calidad de Vida Urbana 2.0 2014, Cámara Chilena de Comercio. Disponible en <http://www.cchc.cl/wp-content/uploads/2014/05/Presentaci%C3%B3n-ICVU-2014-FINAL.pdf> consultado en agosto de 2014.
- INFYDE, “Instrumentos de política RIS3” Working Paper Series Año 3 , Vol. 1, No.1
- Instituciones vigentes julio 2014, Ministerio de Educación. Disponible en <http://www.mifuturo.cl/index.php/estudios/compendio-historico> consultado en agosto de 2014.
- International Energy Agency (IEA). “Technology Roadmap Concentrating Solar Power”, 2010.
- International Energy Agency (IEA). “Technology Roadmap Solar photovoltaic energy”, 2010.
- International Energy Agency. «Electricity Information 2011.» Reporte Anual, IEA, 2012.
- Johnson, G; Whittington R. & Scholes, K. “Exploring Strategy”, Ed. Pearson. 2011.
- Johnson, G; Whittington R. & Scholes, K. Ed. Pearson. “Exploring Strategy”, (2011)
- Lean, G. Kopp and J.L. «A New, lower value of total solar irradiance. Evidence and Climate significance.» Geophysical Research Letters (2011): L01706.
- Ley Corta I. Santiago, Chile : Diario Oficial, 12 de Marzo de 2004.
- Ley de bases del medio ambiente. Ley 19.300. Santiago, Chile: Diario Oficial, 9 de Marzo de 1994.
- Michael Porter, “La ventaja competitiva de las naciones”, 1990.

- Mid-Region Council of Governments “Invigorating the solar technology cluster in central New Mexico”, 2013. <http://nmgreenchamber.com/wp-content/uploads/2013/10/Solar-Technology-Cluster-Report.pdf>
- Minenergía, 2014. Energías renovables en Chile. El potencial eólico, solar e hidroeléctrico de Arica a Chiloé, GIZ-Ministerio de Energía del Gobierno de Chile. 2014.
- Ministerio de Economía, Programa de Prospectiva tecnológica “Prospectiva Chile 2010, Construyendo el Chile económico del futuro”, (2012). Disponible en: http://www.cnice.cl/index.php/doc_details/192-prospectiva-chile-2010-construyendo-el-chile-economico-del-futuro.html
- Ministerio de Energía, “Agenda de energía. Un desafío país, progreso para todos”, (mayo 2014). Disponible en: <http://www.minenergia.cl/documentos/estudios/2014/agenda-de-energia-un-desafio-pais.html>
- Ministerio de Energía, “Energías Renovables en Chile. El potencial eólico, solar e hidroeléctrico de Arica a Chiloé”. Disponible en: http://www.minenergia.cl/archivos_bajar/Estudios/Potencial ER en Chile AC.pdf
- Ministerio de Hidrocarburos & Energía, “Energías renovables un aporte a la Universalización Eléctrica”, Disponible: http://www.hidrocarburos.gob.bo/sitio/index.php?option=com_content&view=article&id=1119:energias-renovables-no-convencionales-un-aporte-a-la-universalizacion-de-la-electricidad&catid=67:proyectos
- National Renewable energy Laboratory, “Summary Report for Concentrating Solar Power Thermal Storage Workshop , New Concepts and Materials for Thermal Energy Storage and Heat-Transfer Fluids” May 20, 2011
- Oferta académica 2010-2014, Ministerio de educación. Disponible en <http://www.mifuturo.cl/index.php/bases-de-datos/oferta-academica> consultado en agosto de 2014.
- Pérez, Richard Pérez and Marc. «A Fundamental Look at Energy Reserves for the Planet.» IEA/SHC Update (2009).
- Per-Helge Dimmen and Ingrid Ødegård. “Assessing the strength of the Norwegian solar power industry – a cluster analysis”. Master thesis. Programme Master of Science in Business and Economics Strategy Major. BI Norwegian School of Management. 2009.
- POCH, “Servicios de gestión experta para la atracción de inversiones en la industria auxiliar y de las energías renovables no convencionales”, (2010).
- Porter, M. E. & Stern, Scott (2001) Innovation: Location Matters. MIT Sloan Management Review, Summer 2001.
- Porter, M. E. & Stern, Scott and Furman, Jeffrey (2000). The Determinants of National Innovative Capacity. National Bureau of Economic Research, 2000.

- Porter, M. E. (1990) The Competitive Advantage of Nations. Free Press, New York, 1990 & 1998.
- Porter, M. E. (1999) Clusters and Competition: New Agendas for Companies, Governments, and Institutions. Harvard Business School Press, 1999.
- Porter, M. E. (2008) The Five Competitive Forces That Shape Strategy. Harvard Business Review, Jan. 2008.
- Proyecto MAPS Chile. “Opciones de mitigación para enfrentar el cambio climático”, 2014. <http://www.mapschile.cl/>
- Registro CyT energía solar, Solar Energy Research Center (SERC) 2014.
- Revista Electricidad, 2013. Compendio Energético de Chile, Revista Electricidad, 2013.
- Román, Roberto. «Potencial de Aplicación de Energía Solar en Chile.» Octubre de 2012.
- Sánchez, 2012. Modelación numérica, diseño, construcción y análisis experimental del desempeño de un motor stirling de baja entalpía. Memoria para optar al título de ingeniero civil mecánico. Universidad de Chile. Noviembre 2012.
- SERC Chile, “Visión SERC al 2030”, (2014)
- Seremi de Energía, “50 Compromisos para mejorar la calidad de vida en el Chile de Todos”, (mayo 2014)
- Summary Report for Concentrating Solar Power Thermal Storage Workshop , New Concepts and Materials for Thermal Energy Storage and Heat-Transfer Fluids May 20, 2011
- Tekes, “The Finnish Solar Cluster”, Pöyry Management Consulting Oy. 2012. http://www.tekes.fi/Global/Ohjelmat%20ja%20palvelut/Ohjelmat/Groove/Aineistot/the_finnish_solar_cluster_2012.pdf
- VALGESTA, “Análisis de Incentivos Tributarios Para Proyectos de Generación de Energía Renovable No Convencional ERNC”, (2011). Disponible en: http://www.minenergia.cl/archivos_bajar/Informe_Final_Analisis_Incentivos_tributarios_para_proyectos_generacion_Energia.pdf
- Zabalza, Ignacio; Arando, Alfonso. “Energía Solar Térmica”. Zaragoza. España. 2009
- Zervos, Arthouros et al. Renewables 2014 Global Status Report. NY: www.ren21.net, 2014.
- World Economic Forum (WEF), 2014. The Global Energy Architecture Performance Index Report 2014, December 2013. Preparado en colaboración con Accenture. Disponible en: <http://www.weforum.org/reports/global-energy-architecture-performance-index-report-2014>
- Fundación Chile, 2014. “Proyección Escenario Línea Tendencial 2012 y Escenarios de Mitigación del Comercial, Público y Residencial”, Estudio Proyecto MAPS Chile, abril 2014 (licitado a través de PNUD SDP 29/2013).
- UNTEC, 2014. “Proyección Escenario Línea Tendencial 2012 y Escenarios de Mitigación de los sectores Minería y Otras Industrias”, Estudio Proyecto MAPS Chile, abril 2014 (licitado a través de PNUD SDP 28/2013).