CAPACIDAD DE LOCALIZACIÓN DE CSP
ANÁLISIS Y POTENCIAL ENERGÉTICO EN CHILE

Programa de Energías Renovables y Eficiencia Energética en Chile

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Por encargo de:
Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza, Obras Públicas y Seguridad Nuclear
de la República Federal de Alemania

Ministerio de Energía
Gobierno de Chile

CAPACIDAD DE LOCALIZACIÓN DE CSP - ANÁLISIS Y POTENCIAL ENERGÉTICO EN CHILE

Capacidad de localización de CSP

ANÁLISIS Y POTENCIAL ENERGÉTICO EN CHILE

Programa de Energías Renovables y Eficiencia Energética en Chile

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Por encargo de:
Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza, Obras Públicas y Seguridad Nuclear
de la República Federal de Alemania

Ministerio de Energía
Gobierno de Chile

Capacidad de localización de CSP

ANÁLISIS Y POTENCIAL ENERGÉTICO EN CHILE

Edición:
Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Friedrich-Ebert-Allee 40
53113 Bonn • Alemania

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

Nombre del proyecto:
Programa Energías Renovables y
Eficiencia Energética en Chile

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

Responsable:
Rainer Schröer/ Marlen Görner
E rainer.schroeer@giz.de

Título:
CSP Storage Technology – State of the art
Foto portada: Fraunhofer ISE, Germany

Autores:
Dominik Schlipf
Robin Stepper
Dr. Günter Schneider (enolcon gmbh)

enolcon gmbh
Pleidelsheimer Str. 47A
74321 Bietigheim-Bissingen
Germany
info@enolcon.com

enolcon

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

Santiago de Chile, diciembre de 2014

Capacidad de localización de CSP

ANÁLISIS Y POTENCIAL ENERGÉTICO EN CHILE

Programa de Energías Renovables y Eficiencia Energética en Chile

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Por encargo de:

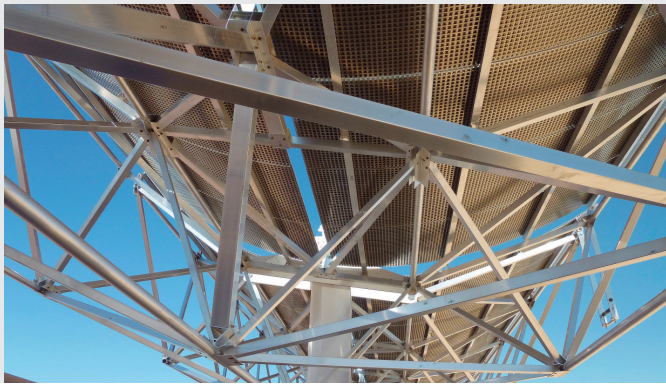
Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza, Obras Públicas y Seguridad Nuclear

de la República Federal de Alemania

Ministerio de Energía

Gobierno de Chile

Índice



1. INTRODUCCIÓN 7

2. ANÁLISIS DE LA CADENA DE VALOR 9

2.1. Cadena de valor de las distintas tecnologías CSP 9
2.1.1. Descripción general de la cadena de valor 9
2.1.2. Visión industrial de la cadena de valor 12
2.1.3. Artículos especiales para diferentes tecnologías 13
2.2. Estudio de caso: Receptores solares 16
2.3. Desarrollo en otros países 17
2.3.1. España 17
2.3.2. EE.UU. 22

3. DESAFÍOS Y OPORTUNIDADES 27

3.1. Riesgos y oportunidades técnicas y económicas 27
3.2. Capacidades industriales específicas por sector en Chile 31
3.3. Influencia de la producción local en los costos de inversión 32
3.3.1. Precios de la materia prima 32
3.3.2. Costos de mano de obra y productividad 33
3.3.3. Tipo de cambio y riesgos 33
3.4. Lecciones aprendidas 34
3.5. Vías de desarrollo para la implementación de la industria CSP 36

4. DESARROLLO ESTIMADO DEL MERCADO 38

4.1. Componentes críticos 40
4.2. Participación de mercado estimada para las distintas categorías 41
4.3. Participación local estimada 43

5. RESUMEN Y CONCLUSIÓN PARA CHILE 44

6. BIBLIOGRAFÍA 46

Lista de abreviaturas[1]

ARS	Peso Argentino
BRL	Real Brasileño
CLP	Peso Chileno
ESC	Energía Solar de Concentración (Concentrated Solar Power)
DNI	Radiación Directa Normal (Direct Normal Irradiation)
EPC	Ingeniería, Adquisiciones y Construcción (Engineering, Procurement, Construction)
EUR	Euro
FTE	Empleo a tiempo completo (Full-time employment)
PIB	Producto Interno Bruto
HCE	Elemento colector térmico (Heat collector element)
HTF	Fluido de transferencia de calor (Heat transfer fluid)
LCOE	Costo nivelado de energía (Levelized costs of electricity)
O&M	Operación y mantenimiento (Operation and Maintenance)
PPA	Acuerdo de compra de energía (Power purchase agreement)
PURPA	Ley de políticas regulatorias de empresas eléctricas de servicio público (Public Utility Regulatory Policy Act)
FV	Fotovoltaico
I,D&I	Investigación, Desarrollo e Innovación
RD	Real decreto
RESIA	Ley de inversiones en servicios eléctricos confiables (Reliable Electricity Service Investments Act)
RTO	Oxidador térmico regenerativo (Regenerative Thermal Oxidizer)
SCA	Módulo de montaje del colector de energía solar (Solar collector assembly module)
SCE	Elemento colector de energía solar (Solar collector element)
SEGS	Estación de generación de energía solar (Solar energy generation station)
EEUU	Estados Unidos de América
USD	Dólar estadounidense

1 Esta lista no contiene abreviaturas de nombres de empresas

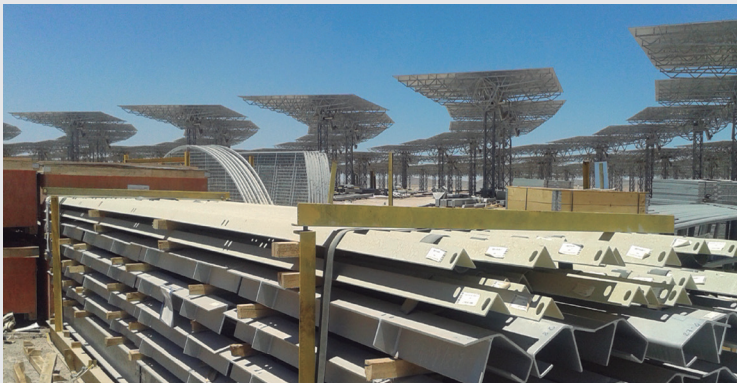
Tablas

Tabla 1 8
Tabla 2: Leyes y normativas en España desde 1980 hasta 2001 19
Tabla 3: Leyes y normativas en España desde 2002 hasta 2008 19
Tabla 4: Leyes y normativas en España desde 2009 hasta 2013 20
Tabla 5: Información técnica de proyectos SEGS 24
Tabla 6: Resumen de los proveedores de los proyectos SEGS 24
Tabla 7: Proveedores de componentes de SEGS 7 24
Tabla 8: Información técnica de Solar One y Solar Two 25
Tabla 9: Proveedores de los componentes de Solar One y Solar Two 25
Tabla 10: Proyectos CSP en Estados Unidos desde el 2006 25
Tabla 11: Resumen de los incentivos en Estados Unidos, basado en [17] 26
Tabla 12: Comparación del ingreso anual bruto de distintos empleos el 2012, basado en [31] 33
Tabla 13: Información general acerca de los componentes CSP y su asignación a categorías 39

Figuras

Figura 1-1: Tecnologías CSP consideradas (de izquierda a derecha): Colectores Cilíndrico Parabólicos (PT), Torre Solar (ST) y el lineal Fresnel (LF) ... 7
Figura 2-1: Las distintas etapas durante el desarrollo de una central CSP ... 9
Figura 2-2: Resumen general de todos los componentes relacionados con la central CSP ... 12
Figura 2-3: Servicios de ingeniería relacionados a la central CSP ... 12
Figura 2-4: Componentes del campo solar: Los helióstatos (izquierda), SCE (centro) y módulo reflector primario (derecha) ... 13
Figura 2-5: La construcción de espejos solares de vidrio, adaptado de [3] ... 13
Figura 2-6: Ubicación de la selección de minas relevantes [6] ... 14
Figura 2 7: Ejemplo de un rig de SCE (de Flagsol) [7] ... 14
Figura 2 8: Las principales áreas mineras de SQM para caliche y salmueras [8] ... 15
Figura 2-9: Receptor solar (SCHOTT PTR70 en la imagen) y cadena de valor asignada [9] ... 16
Figura 2-10: La producción de electricidad en España por fuente, 1990 a 2010, basado en [10] y Red Eléctrica de España ... 17
Figura 2-11: Desarrollo de la capacidad de CSP instalada en España, desde 2007 al 2013, basado en [12] ... 18
Figura 2-13: Capacidad CSP global en enero de 2014 según estado ... 18
Figura 2-12: Radiación directa normal promedio en España con la ubicación de las plantas ESC operativas y Chile con las plantas en construcción, basado en [12] y [13] ... 18
Figura 2-14: Contribución de CSP al PIB español, desde el año 2006 al 2012, basado en [15] ... 20
Figura 2-15: Taza de empleos generados por implementación de CSP en España, desde 2006 a 2012, basado en [15] ... 21
Figura 2-16: Empleos generados por CSP en España según sector, desde el 2008 al 2010, basado en [11] ... 21
Figura 2-17: Participación local de CSP en España, desde el 2008 al 2010, basado en [11] ... 21
Figura 2-18: Desglose de porcentaje de inversión en España para centrales de CSP con almacenamiento (2010), basado en [11] . 22
Figura 2-19: Subvenciones anuales pagadas por energías renovables en España, desde el año 2005 al 2012, basado en [15] ... 22
Figura 2-20: Nuevas instalaciones de capacidad CSP anual en Estados Unidos, desde 1984 al 2017 ... 23
Figura 3-1: La producción de acero en bruto en Sudamérica, el 2014 de marzo [30] ... 32
Figura 3-2: Desviación del indicador de precios del acero en varias regiones, basada en Platts Metal (steelbb.com) ... 33
Figura 3-3: Tipos de cambio de EUR a USD, peso chileno (CLP), BRL y peso argentino (ARS) ... 34
Figura 4-1: Diferentes categorías para cuantificar los contenidos locales de los diversos componentes de la CSP, enolcon 2014 ... 38
Figura 4-2: Desglose de estimaciones de costos de una planta termosolar moderna, basados en [35] ... 40
Figura 4-4: Estimación de la participación local en los componentes de la categoría 2 en Chile ... 42
Figura 4-1: Diferentes categorías para cuantificar los contenidos locales de los diversos componentes de la CSP, enolcon 2014 . 42
Figura 4-5: Estimación de la participación local en los componentes de la categoría 3 en Chile ... 42
Figura 4-6: Estimación de la participación local en los componentes de la categoría 4 en Chile ... 43
Figura 4-7: Participación local estimada de la industria ESC en Chile, enolcon 2014 ... 43

1. Introducción



Chile es uno de los pocos mercados que ofrece un conjunto casi perfecto de ventajas para desarrollar energías renovables, especialmente la CSP. Los recursos renovables (radiación solar) están entre los mejores del mundo, hay una escasez de combustibles fósiles a nivel nacional y, además, las condiciones del entorno empresarial son estables y ofrecen importantes ventajas. Al compararlo con otros mercados emergentes, este trío de ventajas es difícil de encontrar, no solamente en Latinoamérica sino que a nivel mundial. Las centrales solares termoeléctricas pueden jugar un rol clave en el futuro desarrollo de las energías renovables en Chile [1].

Durante varios años se han construido centrales solares termoeléctricas para la producción de energía en todo el mundo, centrándose principalmente en el sur de Europa, el norte y sur del continente africano y los Estados Unidos.

Los componentes claves de estas centrales son iguales sin importar la tecnología utilizada. Se utiliza un sistema de espejos para concentrar la radiación solar directa sobre un receptor dentro del cual se calienta un medio de transferencia de calor, el cual se transfiere a su vez a un bloque de potencia. Aquí, el calor se utiliza para producir vapor, que a su vez es utilizado en una turbina para generar electricidad. Al utilizar el sol como fuente de energía renovable, las centrales CSP entregan una electricidad confiable y ecológica.

Una de las ventajas claves de las centrales CSP es la posibilidad de implementar un sistema de almacenamiento térmico. De acuerdo a la configuración de la central, el sistema de almacenamiento podría estar integrado a cada una de las tecnologías CSP de gran escala disponibles comercialmente, como se muestra en la Figura 1-1.

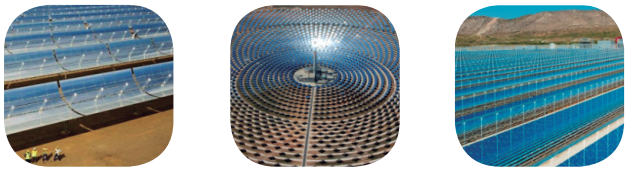


FIGURA 1-1: TECNOLOGÍAS CSP CONSIDERADAS (DE IZQUIERDA A DERECHA): COLECTORES CILÍNDRICO PARABÓLICOS (PT), TORRE SOLAR (ST) Y EL LINEAL FRESNEL (LF)

Los sistemas de almacenamientos de energía tienen una función esencial en cada sistema eléctrico. Debido a que la energía eléctrica se debe consumir al momento de producirse, cada sistema de energía requiere unidades de generación de energía que sean flexibles y confiables. Dichas unidades de generación de energía son controladas directamente por un operador y se denominan unidades de energía "despachable". Los sistemas adicionales de almacenamiento de energía apoyan la red eléctrica al brindar la posibilidad de cambios en la cantidad de energía a lo largo del tiempo. Con la mayor participación de unidades de generación de energía no despachable (como los parques eólicos y las plantas hidroeléctricas sin embalse) aumenta la importancia de los sistemas almacenamiento.

Alrededor de la mitad de las centrales CSP en operación y casi todas las centrales CSP en construcción en el mundo están equipadas con un sistema de almacenamiento térmico. Estas cifras muestran que los sistemas de almacenamiento térmico son una característica clave para la tecnología CSP. Comparado con otras unidades de generación de energía renovable, la capacidad de integrar un sistema de almacenamiento es una enorme ventaja para la central CSP. Los sistemas de alimentación térmicos tienen un papel crítico en asegurar el éxito y un mayor desarrollo de la tecnología al tener la capacidad de suministrar energía de acuerdo a la demanda. La tecnología CSP puede ser parte de la solución a la actual demanda en Chile por unidades de generación y la posibilidad de almacenar energía.

Basándose en el recurso solar disponible, la llamada radiación directa normal (DNI), Chile ofrece un enorme potencial para la tecnología CSP. Especialmente en el norte del país, la DNI medida muestra valores por sobre los 3200kWh/año. Estos valores son bastante altos en comparación con otros mercados emergentes, como podemos ver en la Tabla 1.

Además del buen nivel de recursos solares, hay una gran necesidad de tener un suministro confiable de energía de alta disponibilidad, especialmente en el norte del país con la actividad minera. La combinación de una muy alta radiación solar y la capacidad de almacenamiento térmico de las centrales CSP resultan en una alternativa de mercado muy prometedora y competitiva para el sector energético chileno.

En comparación con otras unidades de generación renovable, la central CSP consta de varios componentes diferentes. La mayoría de los componentes necesarios para el funcionamiento de la central no provienen de una industria altamente especializada. Muchas veces solo se requiere adaptar levemente las líneas de producción ya existentes para fabricar los distintos componentes, lo que permite una gran participación local de la inversión de la central.

A lo largo de la cadena de valor de la central CSP hay varios sectores industriales, Ya que, además, de la clásica central eléctrica, también se encuentran empresas en la industria del vidrio y acero, industria química y petroquímica, aparte de las empresas constructoras. Debido al aumento de la tecnología CSP a nivel mundial durante los últimos años, las normas de calidad y los métodos de producción automatizada se encuentran establecidos en la totalidad de la cadena de valor.

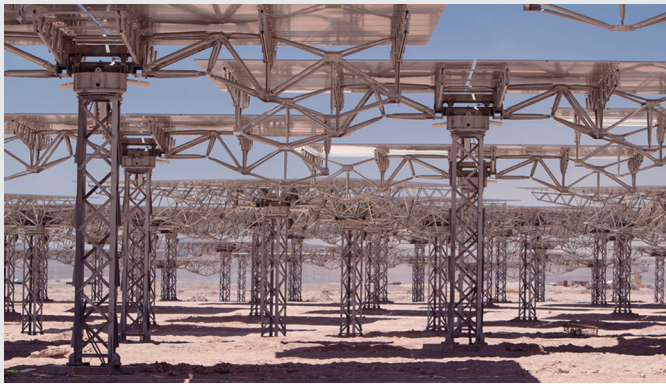
El objetivo principal del informe es tener un conocimiento básico de la cadena de valor y los componentes necesarios para las tecnologías CSP. Basándose en la experiencia de otros países y el desarrollo estimado de la participación local, se presenta el comportamiento proyectado de la participación local de la industria de CSP en Chile.

TABLA 1

PAÍS	PROMEDIO ANUAL TOTAL DE LA DNI (KWH/M²)	VALOR MÁXIMO DEL TOTAL ANUAL DE LA DNI (KWH/M²)	CAPACIDAD INSTALADA DE CSP
España	2200	2400	2310MW_{el} (operacional)
Marruecos	2400	2700	~170MW_e (en construcción)
EEUU (Nevada)	2500	3000	1470MW_e (operacional), 400MWel (en construcción)
Sudáfrica	2800	2900	300MW_{el} (en construcción)
Chile	2900	3200	~110MW_{el} (en construcción)

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

2. Análisis de la cadena de valor



Para estimar el impacto de las centrales de CSP en la economía local, este capítulo muestra la cadena de valor de un proyecto de CSP típico a lo largo de todo su ciclo de vida.

Hay que tener en consideración que el valor principal de la central CSP se crea durante la etapa de construcción de esta misma. Durante la operación de la central, (típicamente alrededor de 25 años) se crea valor adicional por medio de la operación y mantenimiento de esta. La etapa de desarrollo de la central crea valor adicional.

El desarrollo comercial de la tecnología CSP se vió influenciado principalmente por los avances en dos países. Estados Unidos inició el desarrollo de la tecnología CSP en la década de los '80 y principios de la década de los '90, impulsado por la crisis del petróleo. En el año 2005, se construyeron nuevas centrales en España, con un gran incremento en el período 2010-2012, en paralelo al aumento de las energías renovables en toda Europa. Ambos acontecimientos demuestran algunos puntos y lecciones claves en el desarrollo de la industria CSP y se examinan en detalle en este capítulo.

2.1. CADENA DE VALOR DE LAS DISTINTAS TECNOLOGÍAS CSP

Los siguientes capítulos presentan una descripción general de la cadena de valor de los sectores industriales claves. Posteriormente, se presenta un análisis detallado de los principales componentes y materias primas necesarias.

2.1.1. Descripción general de la cadena de valor

La cadena de valor general de la central CSP se puede dividir en varias etapas durante la fase de desarrollo y construcción. La Figura 2-1 presenta las etapas.

FIGURA 2-1: LAS DISTINTAS ETAPAS DURANTE EL DESARROLLO DE UNA CENTRAL CSP

El desarrollo es muy similar al desarrollo típico de una central eléctrica o de instalaciones de mayor tamaño en la industria de procesos. Además del mandante de la central hay varios actores claves:

- **La empresa de desarrollo del proyecto:** El gerente de proyecto y la empresa de desarrollo son responsables de la coordinación y los trabajos preliminares, permisos, análisis ambiental, la preingeniería y las negociaciones con la empresa de EPC (ingeniería, adquisiciones, construcción, por sus siglas en inglés).
- **Empresa EPC:** La empresa EPC es responsable de la ingeniería y la construcción de la central de energía, y escoge todos los fabricantes de los componentes.
- **Fabricantes de componentes:** Muchos componentes del campo solar son fabricados por distintas empresas. Ya sea como producto en su totalidad (por ejemplo, los intercambiadores de calor), fabricación bajo licencia (por ejemplo, la estructura de soporte) o incluso como subproveedor de piezas específicas (por ejemplo, tubos de acero para los absorbedores).
- **Asesores financieros y técnicos:** Además de la empresa de desarrollo, varias otras empresas asesoras están activas a lo largo de la cadena de valor en todos los pasos del proyecto.
- **Empresas de logística y construcción:** Para la preparación de la infraestructura y el sitio de la central CSP se requieren empresas de construcción. Durante la etapa de construcción de la central se debe entregar una gran cantidad de materia prima, materiales semielaborados y componentes prefabricados al sitio, lo que requiere la participación de empresas con experiencia local.
- **Operación y Mantenimiento (O&M):** Después de la construcción y la puesta en servicio de la central se inician las operaciones regulares de la central. La empresa de O&M es responsable de la operación diaria, inspecciones periódicas y el mantenimiento.

Las distintas etapas se detallan a continuación:

Desarrollo del proyecto

La primera etapa de un proyecto CSP es el desarrollo del proyecto. El proceso de toma de decisiones comienza con el alcance básico del proyecto, es decir, los estudios de factibilidad técnica y económica, la selección del terreno y las oportunidades de financiamiento. Después de elaborar un primer borrador que incorpora estas decisiones básicas, la ingeniería conceptual del proyecto comienza con una propuesta de las especificaciones técnicas. Una vez terminado el diseño conceptual, comienza el proceso de permisos y negociaciones de contratos. Estas etapas están estrechamente vinculadas al financiamiento de la totalidad del proyecto. En los proyectos actuales, expertos de ingeniería especializados en proyectos de centrales eléctricas ofrecen todos los servicios necesarios para el desarrollo del proyecto. El tiempo es un factor crítico, especialmente para las primeras centrales, debido a que los estudios de factibilidad, el proceso de permisos y la toma de decisiones del ámbito público demoran mucho tiempo. Muchas veces se subestiman los costos de esta etapa.

Materiales

La segunda etapa de la cadena de valor de CSP consiste en la selección y recopilación de las materias primas y materiales más procesados. Mientras que algunos de los materiales son proporcionados por el mercado mundial, otros son suministrados localmente, en función de los aspectos logísticos y costos. Cuantitativamente, el hormigón, acero y vidrio son los materiales que más se necesitan para una central CSP. También son necesarios otros materiales como productos químicos para el fluido de transferencia de calor o los aislantes. Para una central de referencia (de colectores cilíndrico parabólicos) de 50MW, por ejemplo, se necesitan alrededor de 10.000 toneladas de hormigón, 10.000 a 15.000 toneladas de acero y 6.000 toneladas de vidrio. El hormigón y el acero pueden ser suministrados muchas veces por los proveedores locales, dependiendo no solamente de la calidad de la materia prima, sino también del precio del mercado local comparado con el mercado mundial. [2].

Componentes y subsistemas

La central CSP consta de varios componentes o subsistemas claves producidos independientemente. Cada componente depende de varios sectores industriales específicos. Los componentes considerados son:

- **Campo solar (subsistema):** Incluye los espejos y la estructura de soporte relacionada. Para los sistemas de colectores cilíndrico parabólicos y lineales Fresnel también se considera el sistema de seguimiento con cables. Para los sistema de torre solar, se incluyen los heliostatos y los cables Los receptores solares no forman parte de este componente y están incluidos en el siguiente punto.
- **Receptor Solar:** De los sistemas de colectores lineales (cilíndrico parabólicos, lineales Fresnel) se consideran los tubos receptores. Para los sistemas de torre solar, se considera toda la torre, incluyendo el receptor en su parte superior.
- **Almacenamiento térmico (subsistema):** Dentro de este componente se incluyen todos los componentes necesarios para el sistema de almacenamiento térmico. Como lo último en tecnología en sistemas de almacenamiento de largo plazo, se considera un sistema de sales fundidas de 2 tanques. Esto va integrado directa o indirectamente, de acuerdo a la tecnología y el HTF (fluido de transferencia de calor). Las sales solares, los tanques de almacenamiento, los intercambiadores de calor (de ser necesario) y las bombas de las sales fundidas se consideran como componentes principales.
- **Sistema de fluido de transferencia de calor:** De acuerdo al sistema HTF utilizado, se necesitan distintas materias primas y capacidades de producción. Para sistemas de generación directa de vapor, los requisitos son similares a la industria convencional (por ejemplo, recipientes presurizados, tubería y depósitos de agua de alimentación). Si se utiliza un aceite térmico como HTF, se debe producir este material (aceite térmico sintético), con la obligación de ofrecer una alta estabilidad térmica. El equipo asociado, como las tuberías, bombas y los tanques de almacenamiento deben ser aptos para ser utilizados con el aceite térmico caliente en el largo plazo.

- **Bloque de potencia:** La parte principal del bloque de potencia es el ciclo de agua-vapor, generalmente impulsado por un intercambiador de calor que transfiere el calor del campo solar al ciclo de agua-vapor. Este intercambiador de calor no es necesario para las tecnologías de generación directa de vapor. El vapor se utiliza para impulsar una turbina de vapor. Todo el equipo auxiliar necesario (llamado "balance de planta"), también se incluye.

Ingeniería y construcción de la central

La cuarta y quinta etapa de la cadena de valor consiste en la ingeniería y construcción de la central. Esto lo lleva a cabo el contratista EPC, el cual es es responsable de la construcción de toda la central. El contratista EPC selecciona todos los proveedores y adjudica la mayoría de los trabajos a subcontratistas. En algunos casos, incluso antes de que la entidad contratante elija el contratista EPC final, algunos proveedores de componentes son elegidos debido a motivos logísticos, de tiempo y/o políticos. La mayoría de los contratistas EPC más experimentados tienen una base fija de proveedores de componentes que participan en casi todos sus proyectos.

Los contratistas EPC son generalmente empresas filiales de grupos industriales y pueden recurrir a empresas constructoras y consultoras de ingeniería de su propio grupo empresarial. Muchas veces también se relacionan las obras civiles del total de la central al contratista, ya que varias empresas tienen sus propias filiales o sociedades conjuntas para encargarse de estas tareas. Las grandes empresas de infraestructura de edificios, centrales de energía solar y otros proyectos de infraestructura proporcionan los servicios básicos de obras civiles. Para estas obras civiles, el montaje e instalación de los colectores se requiere una gran cantidad de mano de obra no cualificada en el lugar de construcción.

Operación

La sexta etapa es la operación e incluye la operación y mantenimiento (OyM) de la central que dura hasta 25-30 años. Esto normalmente lo realizan subcontratistas locales. Actualmente, una central CSP de 50MW, requiere alrededor de 30 personas para la operación y 10 personas para el mantenimiento. Las tareas de operación y mantenimiento se pueden dividir en cuatro grupos: administración de la central, operación y control, inspección técnica del bloque de potencia y la operación y mantenimiento del campo solar [2].

Gestión de la calidad y la trazabilidad

Con el mayor desarrollo de la tecnología CSP y el aumento de la capacidad instalada, nuevos temas como la estructura de control de calidad de cada componente o la trazabilidad de los componentes del proveedor y el subproveedor son cada vez más importantes. Además del rendimiento óptico o térmico de cada componente, la estabilidad a largo plazo de los distintos componentes también es una parte esencial del control de calidad.

Es importante para la empresa que opere la central hacer un seguimiento de estos componentes, especialmente aquellos que son de gran valor para el rendimiento de la central (como los receptores solares o las piezas del bloque de potencia). En el caso que se produzca una falla, el proveedor debe ser capaz de proporcionar información suficiente y precisa acerca del proceso de producción del componente, incluyendo de todos los subproveedores. La trazabilidad de componentes es bien conocida por otros sectores industriales (como el sector automotriz).

RESUMEN:

La cadena de valor de una central CSP puede dividirse en tres etapas principales: el desarrollo del proyecto, la construcción de la central, y la operación y mantenimiento de la central.
Varios sectores industriales están activos a lo largo de la cadena de valor, especialmente en la etapa de construcción.
La central CSP en si consta en varios componentes y subsistemas: Campo solar (subsistema), Receptor Solar, Almacenamiento térmico (subsistema), Sistema de fluido de transferencia de calor, Bloque de potencia.

2.1.2. Visión industrial de la cadena de valor

El esquema de la Figura 2-2 se divide en los componentes industriales relevantes para cada central CSP: el sistema HTF, el campo solar, el bloque de potencia y el sistema de almacenamiento térmico. Cada sección de la industria principalmente relacionada a un componente se indica en la Figura 2-2. La descripción general de la cadena de valor de todos los componentes relevantes es similar para todas las tecnologías CSP.

Se necesitan procesos especiales o métodos adaptados de producción, especialmente para la producción de los diferentes componentes de la central CSP. Sin embargo, los equipos y conocimientos técnicos de instalaciones ya existentes pueden (y deben) ser utilizados para lograr ser competitivos.

Las empresas de ingeniería mecánica y de la industria de acero son los principales actores en la producción de componentes para la central CSP, especialmente en relación con el bloque de potencia. Las empresas de la industria química y de vidrio están involucradas en la producción de componentes específicos de la central (por ejemplo, el campo solar). Debido a la construcción de la central en el sitio, las empresas del sector de la construcción y logística entran a participar del proceso.

Aparte de las empresas de producción, hay varias empresas de servicios, ingeniería y consultoría activas a lo largo de la cadena de valor de la central CSP, como se muestra en la Figura 2-3.

Durante el desarrollo del proyecto, las empresas de ingeniería proporcionan los primeros datos sobre el recurso solar y las condiciones de borde. En la gestión de contratos de la central se encuentran activos diversos consultores en diferentes ámbitos (legal, financiero y técnico). Durante la etapa de construcción, son necesarias obras de ingeniería y supervisión. Durante la etapa de operación, se debe realizar un seguimiento continuo y una optimización de la central, con el fin de mejorar su funcionamiento y, al mismo tiempo, ganar experiencia para las nuevas centrales.

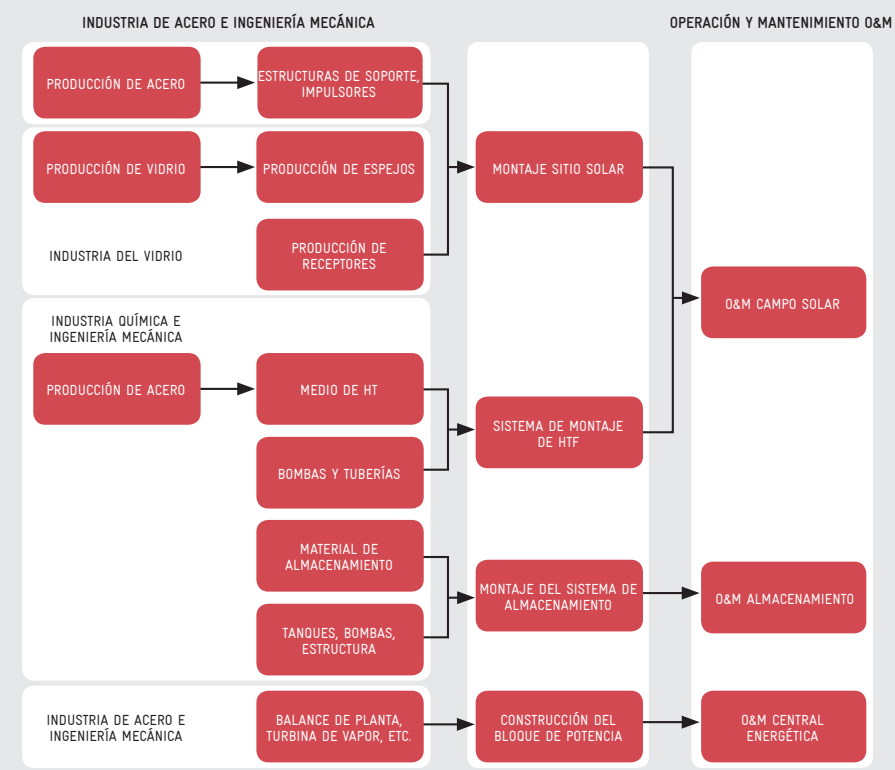


FIGURA 2-2: RESUMEN GENERAL DE TODOS LOS COMPONENTES RELACIONADOS CON LA CENTRAL CSP

FIGURA 2-3: SERVICIOS DE INGENIERÍA RELACIONADOS A LA CENTRAL CSP

2.1.3. Artículos especiales para diferentes tecnologías

Cada tecnología de CSP consiste en diversos artículos específicos que influyen dentro de la cadena de valor. En este capítulo se describen los principales componentes que influyen en la cadena de valor.

Campo solar

Para todo tipo de central de CSP se necesitan espejos montados en una estructura de acero como soporte. El diseño principal de la estructura de apoyo podría variar dependiendo de la tecnología empleada. La Figura 2-4 muestra los distintos diseños de helióstatos (para la torre solar), elemento colector solar (SCE, colectores cilíndrico parabólicos) y un módulo reflector primario (lineal Fresnel).

FIGURA 2-4: COMPONENTES DEL CAMPO SOLAR: LOS HELIÓSTATOS (IZQUIERDA), SCE (CENTRO) Y MÓDULO REFLECTOR PRIMARIO (DERECHA)

La construcción simple es un elemento común para los tres tipos de reflectores. Se utiliza una estructura de soporte de acero para afirmar los espejos y permitir la posibilidad de seguimiento. Los espejos se montan sobre esta estructura. La estructura de soporte de acero está diseñada de forma sencilla pero robusta, y así brindar la estabilidad de sistema necesaria contra la carga de viento y permitir un montaje en sitio.

Para los sistemas de colectores cilíndrico parabólicos, los espejos deben ser curvos y procesados de tal forma que permitan el montaje en sitio. Este proceso de curvatura adicional debe incluirse en la cadena de valor para la producción de espejos, tal como se muestra en la Figura 2-5.

A fin de garantizar una mayor eficiencia óptica, se necesitan altas exigencias en la precisión, especialmente para el proceso de curvatura,.Sin importar la tecnología que se emplee, la reflectividad de los espejos debe ser siempre alta. Los grandes actores del mercado como Flabeg o Saint-Gobain ofrecen espejos con una reflectividad mayor a 94% con un grosor de 2mm y 93% con un grosor de 4mm [4]. El proceso de curvado y, especialmente, la precisión del curvado es un paso crítico del proceso y tiene una alta influencia en la eficiencia óptica de todo el elemento colector de energía solar. Una mejor eficiencia óptica tiene influencia directa sobre la producción de electricidad de la central y, por lo tanto, tiene como resultado costes de producción de electricidad más bajos.

Las centrales CSP de última generación utilizan espejos con los siguientes tamaños [4]:

- **Cilíndrico parabólico**
  - Dimensiones: hasta 2030x2010mm.
  - Grosor: 4 mm
  - Ejemplos de solicitudes (Andasol, España): Alrededor de 574.050M², área necesaria para una central de 50MW con 8h de almacenamiento (tanto para aceite térmico como sal fundida), teniendo como resultado más de 210.000 espejos.
- **Torre Solar**
  - Dimensiones: hasta 2000x2250mm.
  - Grosor: 3-4mm
  - Ejemplo de solicitud (Crescend Dunes, EEUU): Alrededor de 1.209.341m² de superficie es necesaria para una central de 110MW con 10h de almacenamiento (directo con sales fundidas) con un total de más de 365.800 espejos.
- **Reflector lineal Fresnel**
  - Dimensiones (Novatec): 5350x750mm
  - Ejemplo de solicitud (Puerto Errado II, España): Alrededor de 302.000m² de superficie es necesaria para una central de 30MW sin almacenamiento (directo con generación de vapor) con un total de más de 75.000 espejos.

La alta reflectividad de los espejos en centrales CSP solo puede lograrse utilizando vidrio sumamente puro o "blanco". Este tipo de vidrio también se utiliza para las celdas FV. El recurso principal para fabricar este vidrio es arena de bajo contenido de hierro, ya sea de recurso natural o como arenas industriales reducidas en hierro producidas con equipos especiales. Basado en [5] hay arenas de sílice disponibles en Chile. No hay información disponible acerca del contenido de hierro.

FIGURA 2-5: LA CONSTRUCCIÓN DE ESPEJOS SOLARES DE VIDRIO, ADAPTADO DE [3]

Ya que Chile tiene una fuerte industria minera, también hay otras materias primas disponibles como hierro, acero, cemento, cobre o nitratos. Esto significa que hay una buena disponibilidad de materias primas. Además, como muestra la Figura 2-6, estas minas están situadas en el norte de Chile, en regiones con una excelente irradiación solar. Esto ofrece la posibilidad de cubrir la carga térmica o eléctrica (o incluso ambas) de estas minas con la ESC.

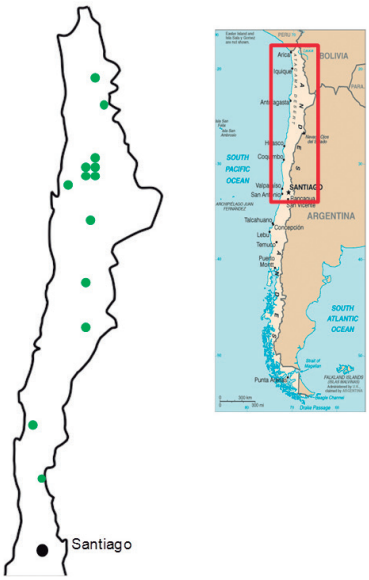


FIGURA 2-6: UBICACIÓN DE LA SELECCIÓN DE MINAS RELEVANTES [6]

La estructura metálica de soporte necesaria para el SCE (elemento colector de energía solar) consta de distintas partes, la mayoría hechas de acero galvanizado. También hay algunos desarrollos de partes hechas con aluminio reciclado. Basándose en la tecnología SCE desarrollada, es posible realizar distintos diseños de la estructura de soporte. No obstante, se podría fabricar el material básico necesario en la industria siderúrgica. Para un SCE típico como el Skal-ET 150 (espejo parabólico), fabricado por Flagsol, la caja de torsión y los brazos de soporte de los espejos están hechos de tubos cuadrados, ángulos iguales, perfiles y placas.

Tal como se mencionó, la sección principal del SCE está compuesta por la caja de torsión, constituyendo la base de todo el colector de energía solar y la conexión a las fundaciones. Los brazos en voladizo que contienen los espejos están conectados a esta caja de torsión y los elementos de soporte del tubo receptor. Toda la estructura de soporte se monta a un costado en lo que se denomina rig o plataforma de montaje, como se puede apreciar en la Figura 2-7. El proceso de fabricación en general puede organizarse con una línea de montaje automático [7].

En los últimos años, en un proyecto de torre solar en EEUU, se han construido y utilizado sistemas de montaje automático para los helióstatos (necesarios para las torres solares). Para el sistema lineal Fresnel, la empresa alemana Novatec creó un centro propio de producción automática, lo que permite una producción automatizada de los espejos y la estructura de soporte en el sitio.

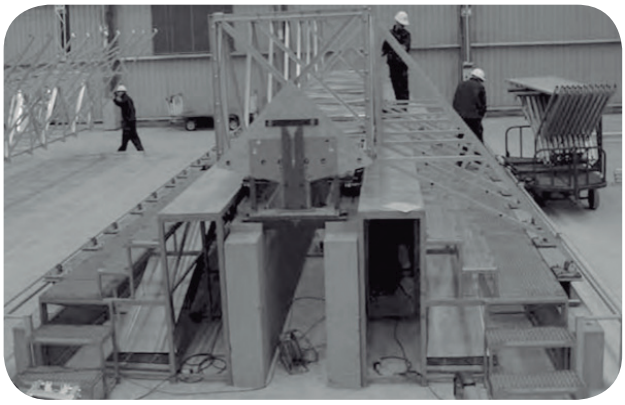


FIGURA 2 7: EJEMPLO DE UN RIG DE SCE (DE FLAGSOL) [7]

Las líneas de montaje utilizan tecnologías y componentes similares a los usados en la industria automotriz y son escalables al tamaño del proyecto. Es conveniente establecer las líneas de montaje cerca del sitio del proyecto para aprovechar la mano de obra local y minimizar los costos de transporte. Las ventajas logísticas y de transporte son un producto que deriva del establecimiento de las fábricas en regiones de mercado objetivo cercanas al campo solar. Estructuras especiales de transporte aseguran que los componentes del reflector se entreguen sin daños en el sitio de montaje, lo que solo requiere una ligera adaptación e inversión por parte de las empresas locales de logística.

Intercambiador de calor:

La central CSP necesita varios intercambiadores de calor para transferir el calor desde el HTF al sistema de almacenamiento térmico o bloque de potencia. De acuerdo al proceso utilizado, se necesitan varios intercambiadores de calor para superar distintas situaciones:

- **El aceite térmico como HTF y las sales fundidas como material de almacenamiento**. Para este sistema muy común de CSP, se necesitan dos grupos distintos de intercambiadores de calor. Un tren de intercambiadores de calor transfiere el calor entre el aceite térmico y las sales fundidas. El grupo de intercambiadores de calor para la transferencia térmica entre las sales fundidas y el HTF consiste en varios intercambiadores de calor, de casco y tubo conectados en serie. Las aleaciones de acero utilizadas tienen que ser resistentes a las sales fundidas y al HTF. Además, el equipo debe aguantar bajas presiones en el rango de 20 bar a temperaturas de hasta 400°C.
  El segundo grupo de intercambiadores de calor es el generador de vapor, que transfiere el calor del aceite térmico al ciclo de agua-vapor produciendo vapor sobrecalentado. En esta etapa se tiene que trabajar con presiones de hasta 100bar y temperaturas de hasta 400°C.
- **Las sales fundidas como HTF y material de almacenamiento.** Para este sistema, utilizado comúnmente en torres solares, se necesita un solo grupo de intercambiadores de calor, ya que se transfiere el calor desde la sal fundida hasta el ciclo de agua-vapor. Al utilizar las sales fundidas como medio para la transferencia de calor, se puede llegar a temperaturas más altas, lo que significa un ciclo más

eficiente de la central generadora de energía. La sal solar empleada consiste en una mezcla de nitrato de potasio y nitrato de sodio. Debido a las características físicas y químicas de las mezclas de sales solares, se deben tomar medidas especiales en el diseño de los intercambiadores de calor basados en sal fundida. Dichas medidas tienen que ver con cintas calefactoras o conceptos especiales de drenado para evitar que se enfríe la sal fundida y para evitar también así la abrasión, corrosión o la expiración de la sal fundida en contacto con oxígeno. Ya que los sistemas basados en sal fundida también se utilizan como medio en la industria química, a menudo el conocimiento específico y los productos ya se encuentran disponibles,. Por ejemplo, las sales fundidas se utilizan en la producción de melamina, alúmina y aluminio, además de la purificación del hidróxido de sodio (soda cáustica).

- **El aire como HTF y material sólido de almacenamiento.** Para este sistema implementado en la torre solar en Jülich, sólo se necesita un grupo de intercambiadores de calor que transfiera el calor del aire al ciclo de agua-vapor. Este intercambiador de calor es similar al generador de vapor con recuperación de calor que se utiliza en centrales generadoras de energía convencionales.

Almacenamiento térmico

La cadena de valor para el sistema de almacenamiento térmico varía dependiendo de la tecnología empleada. En general, los contenedores de almacenamiento y los sistemas auxiliares son similares a las necesidades y aplicaciones industriales. Es por ello que estos componentes podrían producirse de forma local con leves adaptaciones de procesos de fabricación ya existentes.

Para el material de almacenamiento en sí, la disponibilidad de la materia prima es importante para los contenidos locales.

- **Sal solar:** La sal solar consiste en una mezcla de nitrato de potasio y nitrato de sodio. Ambas materias primas están sólo disponibles en ciertos lugares. Actualmente, solo minas en China y Chile pueden proveer grandes mercados. Sólo unos pocos operadores dominan este mercado, SQM de Chile siendo la empresa líder. Los precios de la materia prima son muy altos, lo que resulta en precios altos para el sistema de almacenamiento. Para sistemas de sal fundida de última generación, el material de almacenamiento representa alrededor de la mitad del valor total.

En la Figura 2-8 se presentan las principales minas de SQM, donde materias primas como el caliche y la salmuera se utilizan para producir nitratos.

- **El material sólido:** El material de almacenamiento está disponible localmente en base a la tecnología de almacenamiento utilizada. Los sistemas de almacenamiento que utilizan rocas o arena son fáciles de encontrar localmente. Los sistemas que utilizan cerámicas tienen una estructura especial, como por ejemplo, una estructura de panal, que requieren procesos especiales de fabricación. Estos procesos son similares a las aplicaciones industriales como oxidadores térmicos regenerativos (RTO) o el tratamiento de aire de salida.

FIGURA 2 8: LAS PRINCIPALES ÁREAS MINERAS DE SQM PARA CALICHE Y SALMUERAS [8]

Basado en los lineamientos del mercado en Chile, las centrales CSP con almacenamiento térmico ofrecen un valor adicional al sistema interconectado. El sistema de almacenamiento térmico podría ser utilizado para estabilizar el sistema. Para aplicaciones industriales como la producción de vapor industrial o calor de proceso (por ejemplo para la industria minera), las centrales CSP con almacenamiento térmico permiten una producción de 24 horas.

En relación al potencial de reducción de costo, el sistema de almacenamiento térmico permite aumentar la capacidad de carga de la central. Además de una irradiación alta y costos más bajos en el sistema de almacenamiento térmico, este efecto conduce a una reducción significativa en los costos nivelados de electricidad (LCOE) para la central CSP.

En resumen, los sistemas de almacenamiento térmico, en especial los sistemas de almacenamiento con sales fundidas son un elemento clave en el futuro desarrollo de la tecnología CSP en Chile. Se debe resaltar que las empresas locales más experimentadas son capaces de ingresar al sector con gran facilidad. Las empresas que tienen experiencia en el manejo de las sales solares también pueden seguir desarrollando los materiales de almacenamiento utilizados.

CONCLUSIÓN

- **Los diferentes componentes de la central CSP tienen distintos requisitos en la industria local.**
- **La estructura de soporte de los espejos solo requiere habilidades básicas de construcción en acero y se debe construir cerca de la central CSP.**
- **El curvado de los espejos y los intercambiadores de calor requieren de fabricantes especializados y son características fundamentales para el rendimiento de la central.**
- **El sistema de almacenamiento es un elemento clave en los proyectos CSP chilenos, tanto para uso térmico como eléctrico.**
- **Como el principal proveedor de sal solar se encuentra en Chile, existe un gran potencial de desarrollo.**

2.2. ESTUDIO DE CASO: RECEPTORES SOLARES

Los tubos absorbedores solares (o los elementos colectores de calor) son uno de los elementos más críticos de las centrales CSP de concentración lineal (cilíndrico parabólico y reflector lineal Fresnel), debido a su gran importancia para la eficiencia térmica y por ende, para la potencia eléctrica de la central. En el mundo solo existen unas pocas empresas que son capaces de producir estos componentes y solo dos empresas (Schott Solar CSP y Solel Solar Systems) con una mayor trayectoria.

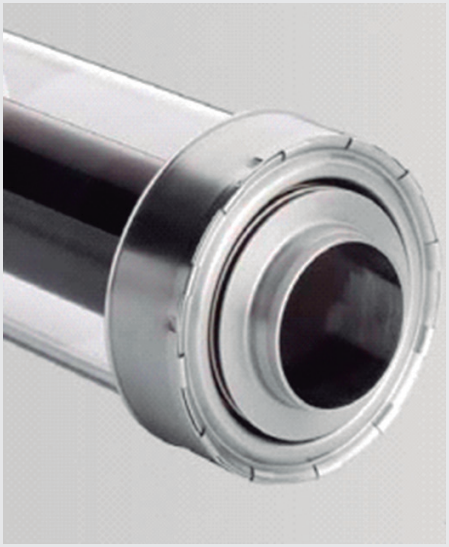
Como se muestra en la Figura 2-9, el receptor consiste en varios subcomponentes, como el tubo de acero con revestimiento especial, el tubo de vidrio y la masa al final del tubo receptor. Como ya se ha mencionado antes, los requisitos para la calidad de los receptores solares son bastante altos, lo que conlleva también a requisitos altos en los subproveedores de cada componente. Estos requisitos no solo se basan en la precisión de los componentes, sino que también en la estabilidad a largo plazo de cada subcomponente durante la vida útil de la central.

Con la implementación de una instalación de recepción local, el subproveedor también debe ser identificado y precalificado. Con el proceso de precalificación, la empresa fabricante asegura la buena calidad de sus productos. El proceso de precalificación no solo incluye las especificaciones técnicas (como la composición de acero) de los componentes, sino que además incluye la calidad de los productos y la precisión en las etapas de producción. Por razones de trazabilidad se debe registrar cada etapa en la cadena de producción (similar a la industria automotriz), lo que limita a los subproveedores más pequeños que no tienen la tecnología necesaria. Para asegurar la estabilidad a largo plazo de los componentes, se requieren pruebas de ciclo de vida que toman bastante tiempo. Según Schott Solar CSP, este proceso de precalificación podría tardar más de un año para un subproveedor.

RESUMEN:

La implementación de una instalación receptora local requiere de varios pasos:

- **Un volumen del mercado estable y previsible. Según Schott Solar CSP, esto debe ser mayor a 150-200MW$_e$ de capacidad nueva instalada por año.**
- **Una lista amplia de empresas capaces de participar como subproveedores y una lista reducida de las empresas que cumplen con los requisitos primarios de la empresa fabricante de receptores y que están interesadas en suministrar componentes.**
- **Un mayor desarrollo cooperativo entre subproveedores y empresas fabricantes en cuanto al aseguramiento de la calidad y futuras mejoras.**



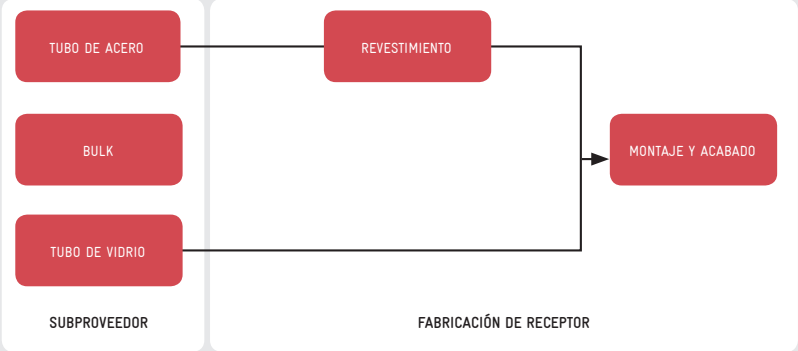


FIGURA 2-9: RECEPTOR SOLAR (SCHOTT PTR70 EN LA IMAGEN) Y CADENA DE VALOR ASIGNADA [9]

2.3. DESARROLLO EN OTROS PAÍSES

En este capítulo se describe el desarrollo ejemplar de la industria CSP en los dos países seleccionados. Se escogió a España y Estados Unidos, países líderes en cuanto a capacidad instalada y capacidades industriales.

2.3.1. España

El desarrollo de las centrales CSP en Europa está estrechamente relacionado con el desarrollo en España. Solo los países ubicados en el sur de Europa ofrecen una buena radiación solar. En el último año, se han desarrollado varias centrales comerciales, aunque entre ellas, solo se han construido centrales piloto o de demostración en el resto de los países europeos (por ejemplo, Alemania, Italia y Francia).

2.3.1.1. La generación de energía en España

Tradicionalmente, la producción de energía eléctrica en España ha dependido mayormente de las fuentes de energía fósil, al igual que en la mayoría de los países europeos. Como se muestra en la Figura 2-10, referida a las últimas dos décadas, más de la mitad de la electricidad anual se ha producido por la quema de combustibles fósiles. Sin embargo, durante los últimos tres años, el consumo energético ha disminuido de manera continua. Se percibe claramente un mayor aumento en el uso de energías renovables, teniendo como resultado una participación por sobre el 50% (hidroeléctrica y otras energías renovables) en 2013.

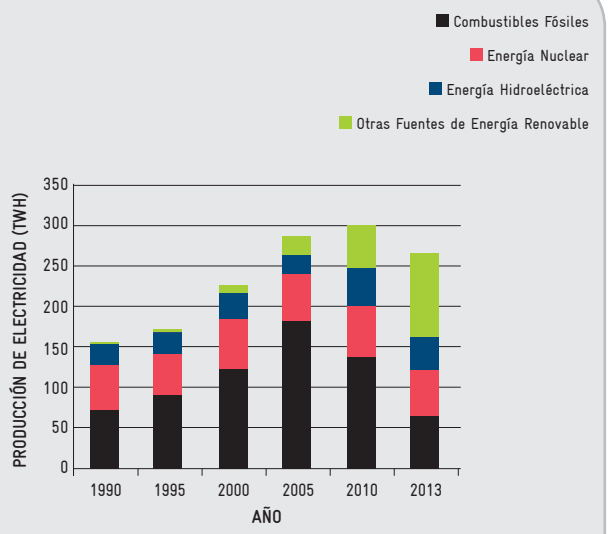


FIGURA 2-10: LA PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD EN ESPAÑA POR FUENTE, 1990 A 2010, BASADO EN [10] Y RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA

En el último tiempo, la conciencia medioambiental ha provocado un cambio de pensamiento en la producción energética de varios países, debido a que la quema de combustibles libera CO_2, se necesitan fuentes alternativas de energía.

Otro aspecto relevante es que casi todos los combustibles fósiles (excepto parte del carbón) se tienen que importar de otros países, lo que causa una gran dependencia que se reduciría con fuentes de energía alternativas a los combustibles fósiles.

Una opción es utilizar la energía nuclear. Actualmente, las centrales de energía nuclear de España suministran alrededor del 20% de la electricidad del país. Como se muestra en la Figura 2-10, este porcentaje se ha mantenido prácticamente invariable durante los últimos 25 años. Todas las centrales de energía nuclear se construyeron en la década de los '80 y desde entonces no se han construido nuevas centrales debido a los riesgos que implica esta tecnología. El gobierno quiere mantener las centrales existentes funcionando hasta que expiren sus licencias (en 2020/2021) como una tecnología puente hasta que las energías renovables puedan cubrir la demanda.

España comenzó a utilizar las energías renovables a gran escala cuando construyeron represas con centrales hidroeléctricas en la década de los '60 con capacidades desde 200 a 1.000MW. Hasta finales de los años '90, la energía hidráulica era la única fuente energía renovable que se utilizaba con notoriedad.

Sin embargo, España también tiene condiciones favorables para el uso de energía solar y eólica. Desde que el país comenzó a subsidiar las energías renovables en 1997, se han construido varias centrales eólicas y fotovoltaicas. A pesar de esto, una alta participación de la energía eólica y fotovoltaica en la capacidad de generación puede causar problemas, debido a su falta de capacidad de control. Por esto, siempre es necesario tener centrales eléctricas con capacidades de control, como por ejemplo, CSP con almacenamiento. No obstante, la posibilidad de utilizar una proporción limitada de instalaciones convencionales de combustión alimentadas con gas natural (bajo 15%) le permite a las centrales CSP españolas operar sin almacenamiento adicional. En España, casi la mitad de la capacidad CSP instalada está equipada con un sistema de almacenamiento térmico.

La primera central eléctrica que utilizaba CSP se construyó mucho después en el año 2007, luego que se entregaran subvenciones para centrales termoeléctricas solares en el año 2002.

RESUMEN:

- **La red de energía en España tiene un alto porcentaje de combustibles fósiles, de los cuales debe importar la mayoría.**
- **Existe una conciencia medioambiental que guarda relación con la necesidad de que exista una alternativa que produzca electricidad sin CO^2.**
- **La energía nuclear se considera una tecnología puente hasta que se desarrollen las energías renovables.**
- **Existe un aumento de la proporción de energías renovables en España debido a las grandes subvenciones (hasta el 2012).**

2.3.1.2. Desarrollo de CSP en España

En 2013, se instalaron 2,2GW de CSP en España. Al mismo tiempo, se instalaron 2,9GW de CSP a nivel mundial. En total, el 76% de las centrales CSP del mundo se encuentran en España.

El gráfico en la Figura 2-11 muestra el desarrollo de la capacidad de CSP instalada en España. Desde 2007 hasta 2012, la capacidad aumentó considerablemente, con una pequeña disminución el 2013.

Existen varias razones que explican el fuerte aumento de CSP en España [11]:

- Gran radiación solar.
- Grandes subvenciones para CSP (hasta el 2012, descrito en detalle en el capítulo 2.3.1.3).
- Apoyo a las investigaciones sobre la CSP desde los años '70.

La Figura 2-12 muestra la radiación directa normal promedio (DNI) en España (lado izquierdo) y la ubicación de las centrales CSP operativas en el mapa. En comparación con la radiación directa normal promedio en el norte de Chile (lado derecho), el potencial solar en Chile es mucho mayor que el de España. Con las primeras centrales en construcción en la región de Antofagasta, el desarrollo recién ha comenzado.

El gráfico muestra que las centrales CSP se encuentran en áreas con alta DNI y utilizan casi exclusivamente tecnología cilíndrico parabólica.

Debido a que las subvenciones estaban limitadas a centrales eléctricas con una capacidad instalada de menos de 50MW, todas las centrales CSP tienen una capacidad menor o igual a 50MW. Esto, a pesar de que es posible tener centrales CSP con una mayor capacidad y quizás hasta más rentables.

A continuación, la Figura 2-13 muestra la capacidad CSP global en enero de 2014 según su estado:

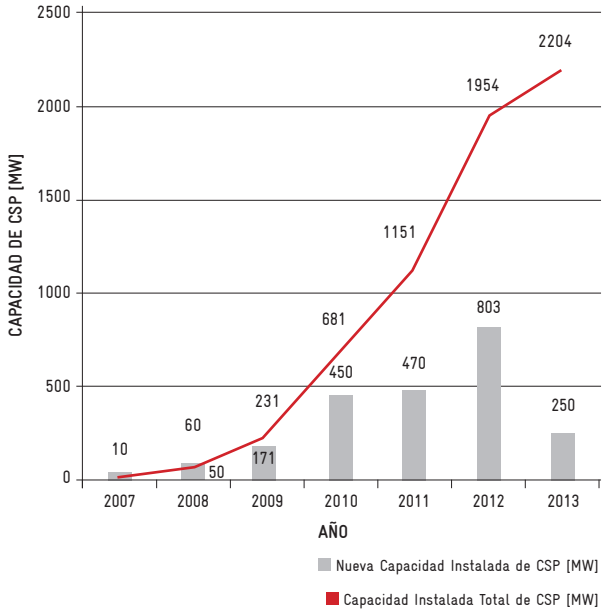


FIGURA 2-11: DESARROLLO DE LA CAPACIDAD DE CSP INSTALADA EN ESPAÑA, DESDE 2007 AL 2013, BASADO EN [12]

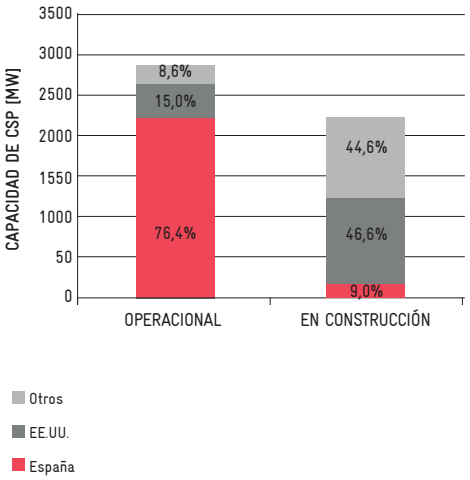


FIGURA 2-13: CAPACIDAD CSP GLOBAL EN ENERO DE 2014 SEGÚN ESTADO

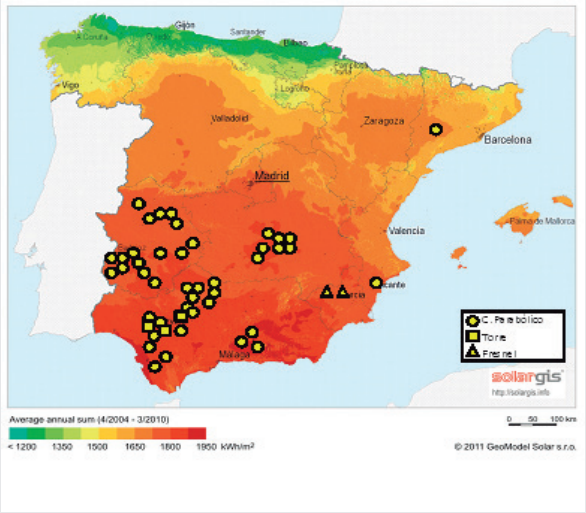


FIGURA 2-12: RADIACIÓN DIRECTA NORMAL PROMEDIO EN ESPAÑA CON LA UBICACIÓN DE LAS PLANTAS ESC OPERATIVAS Y CHILE CON LAS PLANTAS EN CONSTRUCCIÓN, BASADO EN [12] Y [13]

Mientras que el 76% de las centrales CSP operativas están ubicadas en España, solo el 9% de las centrales CSP en construcción están ubicadas en dicho país. La razón de esta importante disminución es el cambio en el marco legal, como se describe en el próximo capítulo.

RESUMEN:

- **El inicio de las CSP en España fue excelente gracias a las elevadas subvenciones.**
- **Las limitaciones en los beneficios, otorgados únicamente a centrales que no sobrepasaban los 50MW, evitaron la construcción de centrales CSP de mayor capacidad.**
- **El 2013, casi el 80% de las centrales CSP del mundo se encontraban en España.**
- **Sin embargo, existen muy pocas centrales CSP en planificación o en construcción en España.**

2.3.1.3. Marco legal para las CSP en España

En 1980 España ya tenía una ley sobre las energías renovables (ER) y con la Ley General de Electricidad en 1997 se introdujo un esquema especial de precios para este tipo de energía. Esto se logró gracias a la liberación del mercado energético. En 1998 se definieron las primas adicionales al precio del mercado que se pagarían a las energías renovables, pero hasta ese entonces todavía no se mencionaban las CSP. La Tabla 2 muestra las leyes y normativas españolas más importantes entre 1980 y 2001 sobre energías renovables. Todas las leyes mencionadas se encuentran disponibles en línea en el Boletín Oficial del Estado (BOE), el diario oficial de España, o en la Comisión Nacional de Energía (CNE).

TABLA 2: LEYES Y NORMATIVAS EN ESPAÑA DESDE 1980 HASTA 2001

DERECHO	FECHA	CONTENIDO
Real Decreto (RD) 82/2980	1980/12	• Apoyo a las energías renovables
Ley General de Electricidad 54/1997	1997/11	• Liberación del sector energético • Introducción de un esquema especial para las plantas de energía renovable <50MW: derecho a incorporarse a la red y prima adicional al precio de mercado. • Objetivo: obtener un 12% de fuentes de energías renovables (del total del consumo de energía primaria) para el 2010.
RD 2818/1998	1998/12	• Definición de la prima adicional al precio de mercado por cada tecnología de ER dependiendo de la tarifa promedio anual (=tarifa de referencia) • Reemplazado por el RD 436/2004

En el año 2002 se introdujo por primera vez una prima por la CSP . En los próximos años, hasta el 2007, se desarrollaron y adaptaron tarifas de alimentación para las distintas tecnologías de ER. Desde el 2004, el generador podía escoger entre dos opciones:

- Vender al distribuidor a un precio fijo regulado.
- Vender en el mercado libre a un precio de mercado y recibir una prima adicional más un incentivo por participación en el mercado.

A continuación, la Tabla 3 presenta un resumen de las leyes y normativas entre 2002 y 2008 que establecieron las tarifas de alimentación para las CSP.

TABLA 3: LEYES Y NORMATIVAS EN ESPAÑA DESDE 2002 HASTA 2008

LEY	FECHA	CONTENIDO
RD 841/2002	2002/09	• Prima por CSP (capacidad de 100kW-50MW): 12,0c€/kWh
RD 436/2004	2004/03	• Elección entre dos opciones: Los primeros 25 años a 300%, y después a 200% de la tarifa de referencia Precio de mercado + en un principio 250%, luego 200% + 10% de incentivo de la tarifa de referencia. • Revisión de las tarifas, cuando la capacidad de CSP era >200MW y en 2006
Plan de Energía Renovable 2005-2010	2005	• Objetivo: 500MW de CSP para el 2010
RD 661/2007	2007/05	• Primeros 25 años: 26,9c€/kWh, luego: 21,5c€/kWh • Prima de libre mercado: Primeros 25 años: 25,4c€/kWh, luego: 20,3c€/kWh
Estrategia Española de Cambio Climático y Energía Limpia 2007 - 2012 - 2020	2007	• Objetivo: 32% de energía renovable (consumo bruto de electricidad) para el 2012. • 37% de energía renovable (consumo bruto de electricidad) para el 2020.

La tecnología CSP reacciona más lento a los cambios en el marco legal que varias otras tecnologías renovables, como por ejemplo, las fotovoltaicas. Esto debido a que la planificación y construcción demora más tiempo, pues cada central CSP es única.

En general, la expansión de las energías renovables fue impresionantemente rápida. Debido a esto, la cantidad de subvenciones anuales a pagar aumentaron enormemente desde el 2009 en adelante. El efecto positivo de una alta cuota de energías renovables se vio sobrepasado por los elevados gastos, lo que afecto a la ya débil economía española. Con el fin de limitar los riesgos de un aumento incontrolado, desde el 2009 se han puesto en marcha varias normativas, tal como se muestra en la Tabla 4.

TABLA 4: LEYES Y NORMATIVAS EN ESPAÑA DESDE 2009 HASTA 2013

DERECHO	FECHA	CONTENIDO
n.a.	2009/11	• Limitación en el crecimiento anual de CSP (<500MW/año)
RD 6/2009	2009/04	• Pre-registro necesario para recibir primas en las tarifas de alimentación. • Garantía financiera necesaria como depósito: 100€/kW (CSP).
RD 14/2010	2010/12	• Tarifa adicional de 50€/MWh para electricidad vendida a la red.
RD 1614/2010	2010/12	• Limitación de la energía con derecho a subvenciones, las que dependen de la tecnología y capacidad de almacenamiento de las centrales CSP.
RD 1/2012	2012/01	• Sin subvenciones para nuevas centrales de energía renovable. • Las subvenciones para las centrales en operación y ya autorizadas no se ven afectadas.
Ley 15/2012	2012/12	• 7% de impuesto en toda la generación de electricidad.
RDL 2/2013	2013/02	• No se permiten cambios de opción b) a opción a). • La prima en la opción b) se rebaja a 0c€/kWh.
Ministro de Energía, José Manuel Soria	2013/07	• Sin subvenciones para centrales de energía renovable. • En cambio: 7,5% de retorno para centrales de energía renovable.

Hasta el 2012, todavía se otorgaba la elevada tarifa especial de alimentación del 2007. Sin embargo, varias tarifas adicionales se cambiaron y la electricidad subvencionada se restringió, como se muestra en la Tabla 4.

En España, varias empresas habían invertido en CSP luego de que se les prometiera altos ingresos mediante primas en la tarifa de alimentación. Los cambios constantes en el marco legal dejaron a los inversionistas confundidos y, finalmente, causaron una disminución en las instalaciones CSP.

En enero del 2012, se excluyó a las nuevas centrales eléctricas de todo beneficio, e incluso, en julio de 2013 se recortaron las subvenciones para las centrales eléctricas ya existentes. Desde entonces varias empresas han demandado al gobierno español por los cambios en sus leyes [14].

RESUMEN:

• La liberalización del mercado de electricidad en 1997 le abrió las puertas a las energías renovables.
• En un comienzo habían atractivas tarifas especiales por la inyección de energía (feed in tariff).
• Luego vinieron varias limitaciones y cambios en las subvenciones debido a gastos incontrolables.
• En el 2013 hubo importantes reducciones en los beneficios, incluso retroactivos.
A partir del desarrollo en España, se pueden rescatar tres lecciones fundamentales:
• La cantidad de subvenciones entregadas se debe escoger cuidadosamente.
• Los límites en el tamaño de las plantas deben basarse en razones técnicas o económicas.
• Los inversionistas necesitan seguridad.

2.3.1.4. Impacto económico en España

El impacto económico de las CSP en España es especialmente interesante debido a que el auge de las CSP ocurrió al mismo tiempo que el desplome de la economía española. El siguiente gráfico (Figura 2-14) muestra la contribución de las CSP al Producto Interno Bruto (PIB) de España entre los años 2006 y 2012.

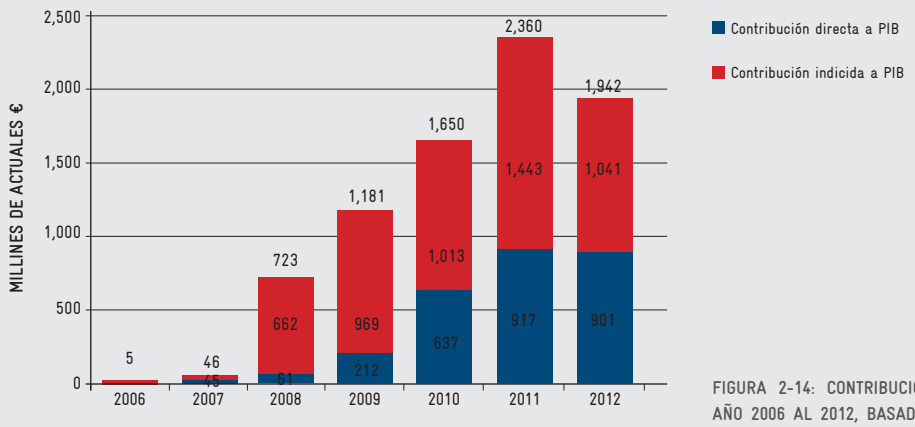


FIGURA 2-14: CONTRIBUCIÓN DE CSP AL PIB ESPAÑOL, DESDE EL AÑO 2006 AL 2012, BASADO EN [15].

La contribución directa al PIB incluye todas las actividades de las empresas que suministraron bienes o servicios específicos a la industria CSP, mientras que la contribución inducida muestra el impacto adicional en el resto de la economía derivado del efecto de arrastre [11].

La contribución de la CSP al PIB español aumentó de un 0.001% en 2006 hasta un 0.23% en 2011.

Desde el año 2007, la tasa de desempleo en España ha aumentado de manera constante hasta llegar a más de un 27% en 2013. Al mismo tiempo, el sector CSP dió empleo a un número creciente de personas, alcanzando las 34.000 personas en 2011. El número de personas empleadas por CSP y la tasa de desempleo en España se muestran en la Figura 2-15:

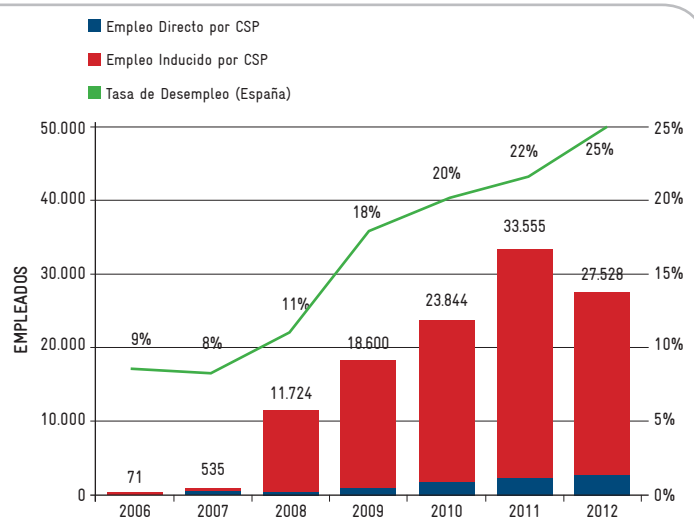


FIGURA 2-15: TAZA DE EMPLEOS GENERADOS POR IMPLEMENTACIÓN DE CSP EN ESPAÑA, DESDE 2006 A 2012, BASADO EN [15]

El empleo directo incluye todos los trabajos que están directamente relacionados con la construcción y operación de las centrales CSP, mientras que el empleo inducido también incluye trabajos que derivan del efecto de arrastre en el resto de la economía [11].

El sector CSP dió empleo a personas durante un período económicamente difícil para España. La gran mayoría de los trabajos se crearon en áreas e industrias que se vieron sumamente afectadas por la crisis económica.

Sin embargo, los más críticos dicen que el dinero que se utilizó para subvencionar las energías renovables, se podría haber utilizado para crear muchos más empleos, si se hubiese invertido en algo diferente [16].

La Figura 2-16 muestra la distribución de empleos entre el período de construcción y operación. Cuando se analiza la figura es importante señalar que en los años indicados varias centrales todavía estaban en construcción, mientras que solo algunas se encontraban funcionando. Si nos fijamos en una central ejemplar de 50MW, se puede observar que durante el período de construcción hubo cerca de 2.200 empleos disponibles, mientras que en el período de operación hubo solo 50 puestos de trabajo, lo que equivale a un 98% y 2% respectivamente [11]. Una central CSP necesita, por lo general, un gran número de personas durante su construcción, pero menos para su operación y mantención. Una importante ventaja de las centrales CSP es que la mayoría de los trabajos se encuentran cerca del sitio de construcción, lo que proporciona empleos locales.

Cuando se revisa el impacto económico de las CSP en España, es importante observar el porcentaje de inversión que se mantiene en el país. Debido a que España ha utilizado principalmente centrales termoeléctricas a base de combustibles fósiles, tienen un mayor conocimiento sobre las centrales termoeléctricas. La Figura 2-17 muestra el porcentaje de inversión que se mantiene en España en la industria CSP para centrales CSP con y sin almacenamiento térmico desde el año 2008 al 2010. Durante los años 2011 y 2012, el contenido local permaneció estable en el nivel que alcanzó el 2010. Desde que se detuvo la construcción de centrales nuevas, no existen cálculos disponibles.

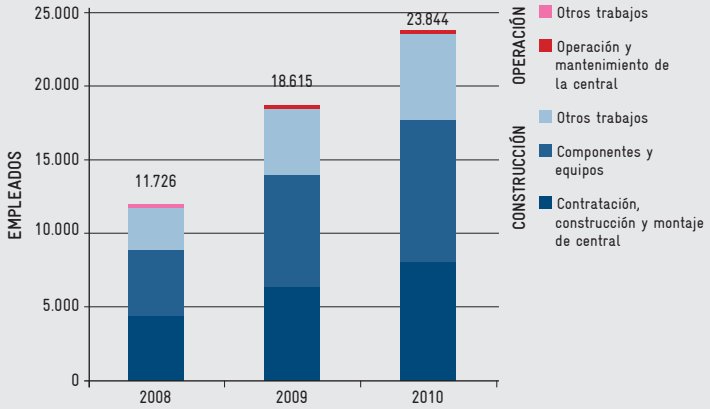


FIGURA 2-16: EMPLEOS GENERADOS POR CSP EN ESPAÑA SEGÚN SECTOR, DESDE EL 2008 AL 2010, BASADO EN [11]

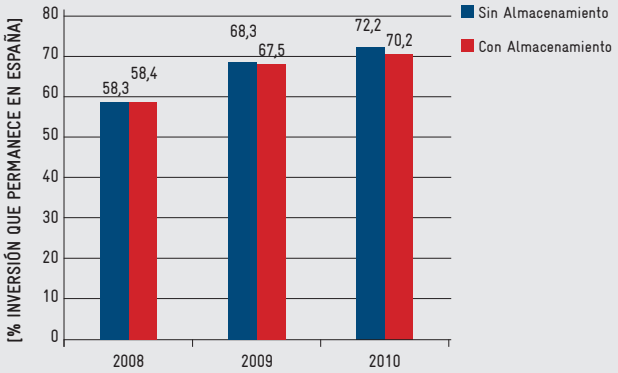


FIGURA 2-17: PARTICIPACIÓN LOCAL DE CSP EN ESPAÑA, DESDE EL 2008 AL 2010, BASADO EN [11]

Mientras que en 2008 un poco más de la mitad de la inversión permaneció en España, el 2010 fue casi tres cuartas partes. El siguiente gráfico (Figura 2-18) muestra la distribución del porcentaje de inversión por sector de las centrales CSP con almacenamiento:

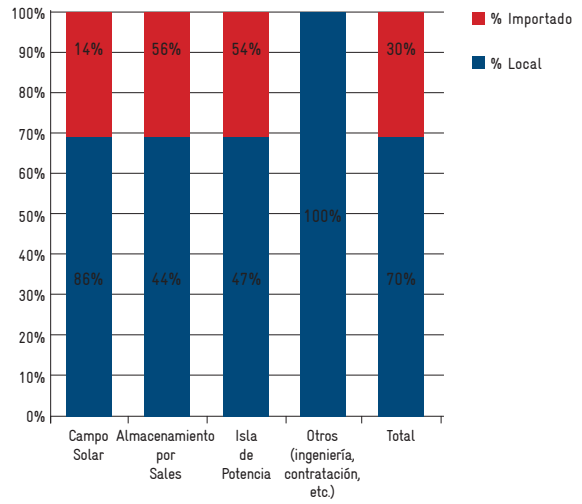


FIGURA 2-18: DESGLOSE DE PORCENTAJE DE INVERSIÓN EN ESPAÑA PARA CENTRALES DE CSP CON ALMACENAMIENTO (2010), BASADO EN [11].

Aun cuando el campo solar en su conjunto es un elemento único de la CSP, España ha adquirido un gran conocimiento y, por lo tanto, una alta participación local. Una razón puede ser que parte de este conocimiento, como por ejemplo la producción de espejos, se puede obtener de industrias relacionadas, como la industria automotriz. Además, ha existido una gran inversión en investigación, desarrollo e innovación (I+D+I) para la industria CSP durante un largo período de tiempo.

Hasta el momento, en este capítulo se han mencionado varios impactos positivos en la economía gracias a la CSP. Por otro lado, es necesario mencionar las subvenciones pagadas por las energías renovables, las cuales se muestran en la Figura 2-19:

Desde 2008 la cantidad anual de subvenciones a pagar se ha duplicado, lo que disminuye el efecto positivo de contribución al PIB. La enorme cantidad de dinero utilizado para subvencionar las tarifas de alimentación fue la razón que llevó a recortar los beneficios para las energías renovables.

RESUMEN:

- **Hubo altas contribuciones por parte del sector CSP al PIB de España, incluso durante periodos de la crisis económica.**
- **Se generaron varios puestos de trabajo en el sector CSP durante épocas de un alto desempleo general.**
- **Se produjo una alta participación local de alrededor de 70%, debido a la extensa experiencia con centrales termoeléctricas, flujos en los procesos industriales e inversión en I+D+I para CSP.**
- **Sin embargo, los grandes gastos en subvenciones sobrecargaron la economía.**

2.3.2. EE.UU.

Estados Unidos comenzó a tener centrales CSP en los años '80. Después de la construcción de dichas centrales no se construyeron nuevas instalaciones CSP durante un largo período. La primera central CSP de la nueva generación se construyó en 2006 y desde entonces surgieron muchas otras.

La Figura 2-20 muestra la instalación anual de centrales CSP entre 1984 y 2013 en Estados Unidos y además centrales en construcción y desarrollo según tecnología.

En los años que no se mencionan en el gráfico no se realizaron nuevas instalaciones de centrales CSP en Estados Unidos. En los próximos capítulos, se describirá el primer período de centrales CSP y luego los desarrollos más recientes.

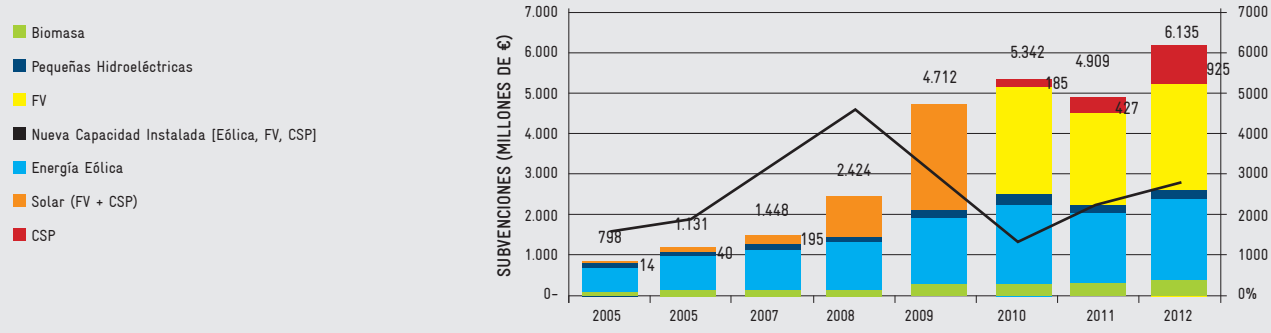


FIGURA 2-19: SUBVENCIONES ANUALES PAGADAS POR ENERGÍAS RENOVABLES EN ESPAÑA, DESDE EL AÑO 2005 AL 2012, BASADO EN [15].

2.3.2.1. Historia de las plantas CSP en Estados Unidos (1980-2000)

Entre los años 1970 y 1980, el precio del petróleo en el mercado mundial se duplicó debido a la organización de la OPEP (crisis energética). En este contexto, el desarrollo de soluciones energéticas alternativas se volvió más atractivo en EEUU y Europa. Como resultado, en EEUU y Europa (especialmente en Alemania y España) comenzaron importantes trabajos de investigación y desarrollo sobre centrales de energía solar de concentración a gran escala.

En 1978, el congreso estadounidense aprobó la Ley Reguladora de los Servicios Públicos (PURPA). Ésta estableció el derecho de los productores independientes de energía a interconectarse con el sistema de distribución local. PURPA permitió el desarrollo de energía fotovoltaica y otros sistemas de electricidad solar a gran escala comercial. Esta legislación requería que las empresas eléctricas compraran la energía eléctrica de instalaciones privadas "calificadas" a un precio igual al costo evitado.

En 1979, se fundó la empresa Luz International Ltd., que celebró un contrato de compra de energía con Southern California Edison , bajo PURPA, por un período de 30 años (1983). De acuerdo a este contrato, la empresa Luz comenzó con el diseño y construcción de 9 centrales CPS en el Desierto de Mojave utilizando tecnología cilíndrico parabólica.

El funcionamiento del primer Sistema de Generación de Energía Solar (SEGS I) comenzó en 1984, con una potencia eléctrica de 13,8MW. El SEGS IX comenzó a funcionar en 1990 con una potencia eléctrica de 80 MW. El total de capacidad eléctrica instalada en SEGS 1 – SEGS 9 es de 354MW.

En 1991, Luz International Ltd. quebró. Las instalaciones todavía se mantienen en operación bajo la responsabilidad de las empresas operadoras.

2.3.2.2. SEGS 1 – 9

El componente esencial de una central SEGS es el campo de colectores cilíndrico parabólicos, alineados de norte a sur. Su elemento básico es el módulo de montaje del colector solar (SCA), con su propio colector parabólico, seguimiento solar y sistema de control local. El colector es un reflector de vidrio que enfoca la radiación solar directamente a un tubo metálico receptor, encapsulado en una capa de vidrio al vacío. El aceite térmico (base mineral o sintético) circula como fluido de transferencia de calor (HTF) dentro del elemento colector térmico (HCE). Un generador de vapor produce vapor sobrecalentado para accionar una turbina. Las temperaturas de trabajo alcanzan alrededor de 300°C a 400°C en todas las centrales SEGS. Para asegurar el vapor sobrecalentado, la legislación permite la quema de un combustible fósil suplementario de hasta 25% de la energía térmica anual instalada en SEGS 2 – SEGS 9. En vez de la combustión suplementaria, SEGS 1 tenía un sistema de almacenamiento térmico de dos tanques para almacenar el HTF caliente. La capacidad de almacenamiento fue diseñada para 3 horas de operación, pero se destruyó en un incendio y no se ha vuelto a reconstruir.

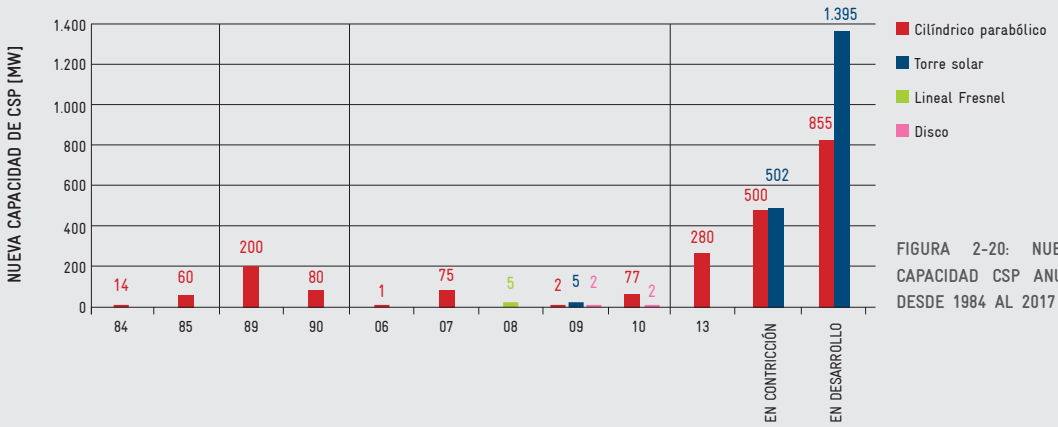


FIGURA 2-20: NUEVAS INSTALACIONES DE CAPACIDAD CSP ANUAL EN ESTADOS UNIDOS, DESDE 1984 AL 2017

Todas las centrales SEGS 1 – SEGS 9 fueron puestas en servicio entre 1984 y 1990 con la información técnica que se muestra en la Tabla 5:

TABLA 5: INFORMACIÓN TÉCNICA DE PROYECTOS SEGS

PLANTA	AÑO	CAPACIDAD [MW_e]	ÁREA DE APERTURA [m²]	TEMPERATURA [°C]	PRESIÓN [BAR]	HTF
SEGS 1	1984	13,8	83.000	307	40	Aceite térmico
SEGS 2	1985	30	190.000	316	40	Aceite térmico
SEGS 3	1985	30	230.000	349	40	Aceite térmico
SEGS 4	1989	30	230.000	349	40	Aceite térmico
SEGS 5	1989	30	250.000	349	40	Aceite térmico
SEGS 6	1989	30	188.000	390	100	Aceite térmico
SEGS 7	1989	30	194.000	390	100	Aceite térmico
SEGS 8	1989	80	464.000	390	100	Aceite térmico
SEGS 9	1990	80	484.000	390	100	Aceite térmico

Todos los proyectos SEGS 1-SEGS 9 han sido desarrollados y construidos por Luz International Ltd. El cilíndrico parabólico fue desarrollado por Luz International Ltd. (Tipo LS-1-LS-3) y el HCE fue entregado por Solel (Israel). La turbina de vapor fue fabricada por Mitsubishi Heavy Industries (MHI), pero se basa en un diseño de General Electric (GE, EEUU).

La entrega y fabricación de los componentes principales se muestra en la Tabla 6:

TABLA 6: RESUMEN DE LOS PROVEEDORES DE LOS PROYECTOS SEGS

CENTRAL	SCE	HCE	TURBINA
SEGS 1	LS-1 Luz (EEUU)	Desconocido	Mitsubishi Heavy Industries (MHI), Japón
SEGS 2	LS-1 Luz (EEUU)	Desconocido	Mitsubishi Heavy Industries (MHI), Japón
SEGS 3	LS-2 Luz (EEUU)	Solel UVAC (Israel)	Mitsubishi Heavy Industries (MHI), Japón
SEGS 4	LS-2 Luz (EEUU)	Solel UVAC (Israel)	Mitsubishi Heavy Industries (MHI), Japón
SEGS 5	LS-2 Luz (EEUU)	Solel UVAC (Israel)	Mitsubishi Heavy Industries (MHI), Japón
SEGS 6	LS-2 Luz (EEUU)	Solel UVAC (Israel)	Mitsubishi Heavy Industries (MHI), Japón
SEGS 7	LS-2 Luz (EEUU)	Solel UVAC (Israel)	Mitsubishi Heavy Industries (MHI), Japón
SEGS 8	LS-3 Luz (EEUU)	Solel UVAC (Israel)	Mitsubishi Heavy Industries (MHI), Japón
SEGS 9	LS-3 Luz (EEUU)	Solel UVAC (Israel)	Mitsubishi Heavy Industries (MHI), Japón

La Tabla 7 muestra los proveedores de los componentes de SEGS 7:

TABLA 7: PROVEEDORES DE COMPONENTES DE SEGS 7

CENTRAL	SCE
Espejos	Flabeg (ex Pilkington), Alemania/EEUU
Receptor	Solel, Israel
Cilíndrico parabólico	Luz, EEUU
Sistema de control	Emerson, EEUU
Bombas	Sulzer, Suiza
Turbina	Mitsubishi Heavy Industries, Japón

2.3.2.3. Torres solares en Estados Unidos

A principio de la década de los '80, el Departamento de Energía (DOE) diseñó y construyó una torre solar con una capacidad eléctrica de 10MW, denominada "Solar One"[2]. La instalación de Solar One comenzó en 1981 y estuvo en operación entre 1982 y 1986. En 1995, la central se convirtió para utilizar tecnología de almacenamiento térmico con sales fundidas y comenzó a operar en 1996 como Solar Two. Esta central dejó de funcionar en 1999.

Después, la torre fue utilizada como Telescopio Cherenkov por la Universidad de California hasta el 2008. El 2009 la central fue demolida. El sitio fue nivelado y Southern California Edison desocupó el terreno.

El método de Solar One para captar energía se basaba en concentrar la energía solar en un punto focal común para generar calor y así transferirlo a un generador de turbina de vapor. Tenía montado cientos de espejos grandes, o helióstatos, que seguían al sol y reflejaban la energía solar en una torre donde un receptor negro absorbía el calor. Se utilizaba un HTF de alta temperatura para llevar la energía a una caldera en el suelo, donde el vapor se utilizaba para hacer girar la turbina tal como en una central termoeléctrica convencional. Tenía un sistema de almacenamiento térmico instalado en paralelo a la turbina, donde el HTF caliente se almacenaba en un tanque, lleno de grava y arena.

En 1995, Solar One se convirtió en Solar Two al agregar un segundo anillo de 108 helióstatos de mayor tamaño alrededor del campo de helióstatos ya existentes del Solar One. En vez de aceite térmico, Solar Two utilizó sales fundidas como HTF y como medio de almacenamiento. Esto le permitía a la turbina funcionar hasta 3 horas después de la puesta de sol.

2 Los nombres "Solar One" y "Solar Two" de las torres solares no se deben confundir con dos centrales eléctricas de reflectores solares, que se anunciaron recientemente, y una central eléctrica cilíndrico parabólica en Nevada desde el 2007.

Información técnica (Tabla 8) y proveedor clave (Tabla 9) de Solar One y Solar Two:

TABLA 8: INFORMACIÓN TÉCNICA DE SOLAR ONE Y SOLAR TWO

PLANTA	CAPACIDAD [MW]	NÚMERO DE HELIÓSTATOS	ÁREA DE UN HELIÓSTATO	ÁREA DE APERTURA [M²]	MEDIO	TEMPERATURA DE LA TURBINA [°C]	PRESIÓN DE LA TURBINA [BAR]	TEMPERATURA DE ALMACENAMIENTO [°C]
Solar One	10	1.818	40	72.650	agua/vapor	510	100	304
Solar Two	10	1.920	40	82.750	sales fundidas	512	68	565

TABLA 9: PROVEEDORES DE LOS COMPONENTES DE SOLAR ONE Y SOLAR TWO

COMPONENTE	PROVEEDOR	
	SOLAR ONE	SOLAR TWO
Receptor	Desconocido	Rockwell International (EEUU)
Generador de vapor	Innecesario (vapor directo)	ABB Lummus Global (EEUU)
Turbina	GE (EEUU)	GE (EEUU)
Sistema de almacenamiento	Rocketdyne (EEUU)	
Heliostatos	ARCO Solar (EEUU)	
Sistemas de monitoreo	ATS, Advanced Thermal System (EEUU)	

RESUMEN:

- **Incentivados por la crisis del petróleo al principio de los años '80, Estados Unidos comenzó a construir las primeras centrales CSP comerciales.**
- **Se construyeron centrales comerciales completas.**
- **Casi todos los componentes fueron fabricados por empresas de EEUU, lo que influyó en toda la industria CSP.**
- **Después de una caída en los precios de la energía en los años '90, no se construyeron más centrales comerciales.**

2.3.2.4. Desarrollo reciente en Estados Unidos (desde el 2000)

El 2004, se fundó la empresa BrightSource (Luz II), la que incorporó la tecnología de Luz International (personal clave de Luz).

Desde 2006 hasta 2010, se construyeron varias pequeñas centrales CSP (1,16MW - 5MW), las que utilizaban diversas tecnologías. El 2007, una central CSP de tecnología cilíndrico parabólica de 75MW comenzó a producir electricidad. Es interesante destacar que desde el 2013 se construyen o anuncian varios proyectos CSP con capacidades de 100 MW o mayores, que utilizan tecnología cilíndrico parabólica o torres solares. Las centrales CSP operativas desde el 2006 y las plantas en construcción se muestran en la siguiente tabla:

El 2012, las empresas líderes en CSP (Abengoa, BrightSource Energy and Torresol) formaron la "Alianza de Energía Solar por Concentración" (CSPA, por sus siglas en inglés). Hasta el momento varias empresas (Cone Drive, Lointek y Wilson Solarpower) se han incorporado a la alianza. Su objetivo es aumentar la conciencia de CSP y avanzar en la propuesta de valor de la industria.

TABLA 10: PROYECTOS CSP EN ESTADOS UNIDOS DESDE EL 2006

CENTRAL ELÉCTRICA (DUEÑO/CONTRATISTA DE EPC SI SE CONOCE)	UBICACIÓN	CAPACIDAD INSTALADA [MW]	OPERATIVA DESDE	TECNOLOGÍA
Saguaro Power Plant (Arizona Public Service/Solargenix)	Red Rock	1,16	2006	Cilíndrico parabólico
Nevada Solar One (Acciona Energía/Lauren Engineering)	Boulder City	75,00	2007	Cilíndrico parabólico
Kimberlina Solar Thermal Power Plant (Ausra/Ausra)	Bakersfield	5,00	2008	Reflector Fresnel lineal
Sierra Sun Tower (eSolar/eSolar)	Lancaster	5,00	2009	Torre solar
Holaniku en Keahole Point (Keahole Solar Power / desconocido)	Keahole Point, Hawaii	2,00	2009	Cilíndrico parabólico
Colorado Integrated Solar Project (Xcel Energy/Abengoa)	Palisade	2,00	2010	Cilíndrico parabólico
Martin Next Generation Solar Energy Center (FloridaPower/Lauren Engineering)	Indiantown	75,00	2010	Cilíndrico parabólico
Maricopa Solar Project (Tessera Solar/Mortenson)	Peoria	1,50	2010	Disco
Solana Generating Station (Abengoa/Abener-Teyma)	Phoenix	280,00	2013	Cilíndrico parabólico
Ivanpah Solar Electric Generating Station (NRG Energy,BrightSource/Bechtel)	Primm	392,00	2014	Torre solar
Crescent Dunes Solar Energy Project (SolarReserve/ACS Cobra)	Tonopah	110,00	En construcción	Torre solar
Abenogoa Mojave Solar Project (Mojave Solar/Abener-Teyma)	Harper Dry Lake	250,00	En construcción	Cilíndrico parabólico
Genesis Solar Energy Project (NextEra Energy/Blattner)	Blythe	250,00	2014	Cilíndrico parabólico

2.3.2.5. Marco legal para CSP en Estados Unidos

El 2000, la ley 1345 del Senado exigió a la comisión de energía desarrollar y administrar un programa de subvención para apoyar la compra e instalación de energía solar, y algunos pequeños sistemas seleccionados de generación distribuida. En septiembre del 2000, la legislatura adoptó la Ley de Inversiones de Servicios de Electricidad Confiables (RESIA, por sus siglas en inglés) como resultado de la legislación (Ley 995 de la Asamblea y Ley 1194 del Senado). El financiamiento para el programa debía ser renovado anualmente por el poder legislativo. La crisis presupuestaria del Estado obligó que el programa cerrara el 2006.

El sistema de leyes de Estados Unidos referentes a las energías renovables y los incentivos financieros disponibles es bastante complejo ya que tiene aplicabilidad federal, estatal y local.

A diferencia de España, el gobierno federal de Estados Unidos no entrega incentivos basados en el rendimiento (=tarifas especiales de alimentación). Hay algunos incentivos basados en el rendimiento entregados por los gobiernos estatales y varios incentivos relacionados con la reducción de impuestos. Sin embargo, en Estados Unidos los incentivos principales para las centrales CSP son los programas de créditos con buenas condiciones.

En especial, el "Programa de Créditos de la sección 1705" del año 2009, se ha utilizado para varias centrales CSP recientes, como por ejemplo, Solana, Crescent Dunes, Abengoa Mojave y Genesis Solar [18]. Este fue diseñado para proyectos superiores a 25 millones de dólares, que comenzaran su construcción antes del 30 de septiembre de 2011 y con un plazo de amortización de 30 años [19].

RESUMEN:

- **Desde el 2006 existen varias centrales CSP en funcionamiento y en construcción, que utilizan diferentes tecnologías CSP y con distintas capacidades (450 MW funcionando + 1.000 MW en construcción).**
- **Todos los componentes necesarios se pueden fabricar localmente.**
- **Incentivos principales en Estados Unidos: Garantías de créditos federales.**

TABLA 11: RESUMEN DE LOS INCENTIVOS EN ESTADOS UNIDOS, BASADO EN [17]

INCENTIVO	DESCRIPCIÓN	FEDERAL	MONTO TOTAL
Incentivos tributarios corporativos	Por ejemplo, créditos fiscales, deducciones y exenciones para empresas que instalan energías renovables utilizando los impuestos corporativos.	Sí	42
Programa de subvención	Generalmente competitivo, diseñados para disminuir los costos de instalación o para pagar I+D.	Sí	52
Contratación/apoyo de la industria	Generalmente con apoyo temporal a empresas en sus primeros años, con una disposición de vigencia limitada.	Sí	39
Programas de créditos	Sin interés o con interés bajo, las tasas y términos varían dependiendo del programa.	Sí	206
Incentivos basados en el rendimiento (feed in tariff)	= tarifa especial de alimentación, dinero que se paga por electricidad que se inyecta a la red.	No	78
Incentivos tributarios al impuesto sobre la renta	Por ejemplo, créditos fiscales, deducciones y exenciones para empresas que instalan energías renovables en impuestos sobre la renta.	Sí	44
Incentivos tributarios a las contribuciones de bienes raíces	Por ejemplo, créditos fiscales, deducciones y exenciones para empresas que instalan energías renovables sobre las contribuciones de bienes raíces.	No	81
Programas de reembolso	Reembolso, generalmente para aplicaciones en baja escala.	No	551
Incentivos tributarios al impuesto sobre las ventas	Por ejemplo, créditos fiscales, deducciones y exenciones por la compra de un sistema de energía renovable en impuesto sobre las ventas, generalmente para aplicaciones en baja escala.	No	47

3. Desafíos y oportunidades

La tecnología CSP y su cadena de valor asociada ofrecen varias oportunidades para las empresas locales, especialmente considerando el desarrollo socioeconómico. Por otro lado, el desarrollo exitoso y sustentable de una industria CSP propia en un país es desafiante. Estos puntos se describen en los próximos capítulos.

Como varios países alrededor del mundo ya comenzaron a desarrollar su propia industria CSP, existen algunas "lecciones aprendidas", que se resumen en el presente capítulo.

En base a estas experiencias, el capítulo finaliza con algunos comentarios y recomendaciones para una exitosa implementación de una industria CSP sustentable.

3.1. RIESGOS Y OPORTUNIDADES TÉCNICAS Y ECONÓMICAS

Toda la cadena de valor de las centrales CSP ofrece varias oportunidades técnicas y económicas para las empresas locales. No obstante, también existen varios elementos importantes que deben ser considerados para un desarrollo exitoso del mercado.

Oportunidades laborales

Debido a la gran cantidad de componentes y partes necesarias para las centrales CSP, existen varias oportunidades para la creación de empleos. Durante la etapa de construcción de la central, se crean empleos directos relacionados con los trabajadores que trabajan en el sitio. Los trabajos inducidos surgen de la gran demanda en la cadena de suministros. Si las empresas activas en la cadena de suministros están desarrollando nuevas capacidades, éstas resultan indirectamente en nuevos puestos de trabajo, de lo contrario los trabajos ya existentes están asegurados.

Además de la creación de empleos a lo largo de la cadena de valor de la central, se crean otros empleos inducidos, como por ejemplo, empleos de capacitación para los trabajadores o por el consumo de bienes y servicios en los sitios de trabajo. Los nuevos empleos en construcción, operación y mantenimiento también tendrán un impacto positivo en los trabajos inducidos en toda la región.

Para mostrar un ejemplo en el desarrollo de creación de empleos, se realizó un análisis basándose en [20], asumiendo un pipeline continuo de CSP de 100 MW/anual con almacenamiento térmico. El potencial de creación de empleos se calcula con las siguientes cifras, asumiendo trabajo a tiempo completo (FTE) por MW instalado:

- **Empleos directos:** Los empleos directos se crean dentro de la etapa de construcción de la central. Estos están directamente relacionados con la construcción en terreno (10FTE/MW) o la fabricación de componentes en una instalación (4FTEMW). Además, los empleos relacionados con la operación se consideran como empleos directos (0,8FTE/MW) y están relacionados con la cantidad de capacidad CSP instalada. Los valores actuales de un proyecto de 377MW (sin almacenamiento) en Estados Unidos (Ivanpah, construido por BrightSource) muestran una cantidad máxima de 2100 trabajadores de la construcción y trabajos de apoyo, lo que resulta en una cantidad específica de 5,5 FTE/MW. Ya que el almacenamiento térmico requiere un campo solar mayor, una vez más este número calza muy bien con los supuestos señalados.
- **Empleos indirectos:** Los trabajos indirectos surgen de la demanda en la cadena de suministros. Estos están relacionados con la etapa de construcción, operación y mantenimiento. Por cada empleo directo se crean 0,9 empleos indirectos.
- **Empleos inducidos:** Los empleos inducidos se generan como trabajos que no están directamente relacionados con la central ESC. Trabajos adicionales como la capacitación de los trabajadores a lo largo de la cadena de valor o debido al consumo de bienes y servicios en los sitios de trabajo o en las instalaciones de fabricación de los componentes se consideran como empleos inducidos. Por cada empleo directo e indirecto, 0,25 FTE son inducidos.

En base a estas suposiciones, se estima un potencial de creación de empleo (sin considerar empleos de operación y mantenimiento) de alrededor de 33 FTE/MW. Comparado con las cifras presentadas para España (2009-2012) en los capítulos anteriores, de un poco más de 40FTE/MW, este supuesto calza con la tecnología actual.

Actualmente, la tasa de desempleo en Chile es bastante baja (alrededor del 6% durante el 2013 [21]) y varias personas trabajan en los sectores industriales de la minería, especialmente en el norte del país. En estas regiones, los empleos CSP creados compiten directamente con los trabajos que ya existen.

Conocimiento del mercado local

Por cada componente de la cadena de valor, nuevos fabricantes locales pueden entrar al mercado. Considerando su experiencia en el mercado local, estas empresas ofrecen un buen punto de partida para su desarrollo en el mercado. Como las empresas locales están bastante familiarizadas con los requerimientos específicos de los procesos de obtención de permisos, las necesidades locales y requisitos, éstas ofrecen una cierta ventaja comparativa con respecto a las empresas internacionales. Además, sus esfuerzos logísticos son menores.

Considerando estas ventajas, las empresas locales podrían ser más competitivas que las empresas internacionales, si es que pueden ofrecer las mismas características y calidad del producto.

Red de distribución

La red eléctrica chilena se divide en 4 zonas distintas, con dos sistemas dominantes que cubren el 99% de la carga, con una capacidad instalada general de más de 17GW. La red del norte (SING, "Sistema Interconectado del Norte Grande") representa alrededor del 35% de la carga instalada, mientras que el 64% lo cubre la red central (SIC, "Sistema Interconectado Central"). Ambos sistemas muestran distintas características de carga, en especial la red del norte que está dominada por empresas mineras, resultando en un perfil de carga casi constante. Con las instalaciones de fuentes variables de energía como la FV o eólica, la demanda de energía despachable del operador de la red de transporte y del comprador de electricidad (en general empresas mineras) aumentará, lo que brinda una buena oportunidad a la tecnología CSP con almacenamiento.

El sistema central les entrega a los clientes comunes un perfil de carga al igual que energía de carga base, lo que resulta en un perfil de carga más fluctuante. En esta red, la combinación de tecnología FV y CSP puede resultar en una configuración similar como la que se ha implementado en Sudáfrica. La FV cubre la demanda de carga durante el día, mientras que la CSP con almacenamiento cubre la demanda adicional durante la noche y hora de máxima demanda.

Según [6], por la demanda de carga la capacidad instalada se debe duplicar en los próximos 10 años si se quiere lograr el crecimiento económico esperado de 6%. Aparte de aumentar la capacidad instalada se debe mejorar también la capacidad de transmisión.

Desarrollo de la tecnología

Como la tecnología CSP ofrece una amplia gama de posibles aplicaciones, existen posibilidades de desarrollar la tecnología aún más. El potencial para la innovación y la adaptación conforme a las necesidades locales es importante, especialmente respecto del elemento clave del sistema CSP: el campo solar y el sistema de almacenamiento térmico. Junto a socios internacionales, se pueden desarrollar productos innovadores tanto para el mercado nacional como para el internacional. Cooperación en el desarrollo tecnológico entre empresas nacionales e internacionales parece posible, especialmente si hablamos de combinar diferentes sectores industriales. En [22] se describen los desafíos y oportunidades de las empresas nacionales e internacionales activas en el sector minero. Un desarrollo tecnológico combinado podría tener una importante influencia, en especial con respecto al suministro eléctrico de estas minas.

Los actuales desarrollos a escala mundial buscan optimizar la tecnología CSP para reducir costos y lograr mayores temperaturas. Para los sistemas de almacenamiento térmico, el desarrollo de nuevos conceptos de almacenamiento y el uso de nuevos materiales de almacenamiento son puntos claves en las actuales investigaciones y desarrollos. Ya que las sales solares utilizadas en los sistemas de almacenamiento térmico se producen principalmente en Chile, el posterior desarrollo hacia rangos de temperaturas más elevadas y estabilidad térmica también debiera ser apoyado por los productores locales. Con la participación de los institutos locales e internacionales de investigación y sus socios, esta investigación puede aportar al desarrollo mundial.

En resumen, las empresas chilenas que actualmente no se encuentran activas en el negocio de las centrales eléctricas, pero si están familiarizadas con los procesos de alta demanda de energía, están capacitadas para desarrollar nuevos productos y posibilidades de integración utilizando CSP. Además, las empresas que ya están activas a lo largo de la cadena de valor necesitan desarrollar aún más sus productos con el objeto de seguir la tendencia mundial de desarrollo hacia mayores temperaturas, aumento de la eficiencia y disminución de los costos. Los otros participantes locales que deseen entrar a la cadena de suministros ya existente, deben adaptar sus líneas de producción existentes para cumplir con las necesidades particulares de la tecnología CSP.

Impacto del comercio exterior

Ya que los recursos solares ofrecen una gran oportunidad para el desarrollo y construcción de centrales CSP en Chile, se podría desarrollar un mercado CSP sustentable durante los próximos años. Considerando la capacidad que tienen las empresas locales de participar en la cadena de suministros, también podrían ser parte de este desarrollo. Como la base industrial en Chile no es tan fuerte en comparación con otros países de la región (por ejemplo, Brasil), la base industrial podría ser muy reducida para la mayoría de las empresas en la cadena de suministros como para que puedan exportar sus componentes al extranjero.

Para las empresas locales ya activas y especializadas en el mercado CSP (en especial, SQM), el mercado internacional de CSP seguiría siendo su mercado primario. Los desarrollos adicionales dentro del país ayudarán a aumentar la visibilidad de la tecnología. Esto puede ayudar a las empresas ya activas a encontrar trabajadores e investigadores capacitados y calificados.

Si la industria chilena y, en especial, la industria minera son capaces de desarrollar métodos de integración para usar CSP en aplicaciones mineras, estas experiencias podría ayudarles a exportar estas tecnologías a otros países con alto potencial minero.

Acuerdo de libre comercio

Los acuerdos de libre comercio con países que dominan el mercado CSP permiten que las empresas internacionales entren de manera más fácil al mercado local. Con este tipo de acuerdos, los problemas financieros y comerciales se resuelven más fácilmente. Sin embargo, temas importantes como los derechos de propiedad intelectual, deben ser acordados dentro de estos acuerdos adecuadamente, para que respalden la formación de empresas conjuntas y otras de estrecha cooperación.

Considerando la situación en Chile, la mayoría de los acuerdos de libre comercio son negativos para las estadísticas de exportación del país. Es decir, se importan más productos de los que se exportan (por ejemplo, para Suiza alrededor del 20% del volumen comercializado se exportó desde Chile entre el 2000 y 2006 [23]). Se podría asumir que algo similar le podría ocurrir a la industria CSP y que una parte importante de los componentes y partes se importen, especialmente en la primera central. La formación y el apoyo de empresas conjuntas entre compañías locales e internacionales pueden ayudar a las empresas locales a entrar al mercado y crear un negocio sustentable. Si esta cooperación es además apoyada por un marco legal local (por ejemplo, subvenciones o créditos) se podría lograr un desarrollo exitoso del mercado local sin bloquear necesariamente a las empresas internacionales.

Desafíos financieros y económicos

Los principales componentes de la cadena de valor CSP se basan, por lo general, en productos fabricados para aplicaciones industriales diferentes. Por ejemplo, las empresas activas en el suministro de espejos o helióstatos para el campo solar estarán generalmente basadas en la industria convencional del vidrio. Un mercado CSP emergente les permitirá diversificar sus mercados dependiendo de su capacidad para producir productos de espejos de alta calidad (es decir, vidrio bajo en hierro). Los desafíos para entrar a este nuevo mercado pueden resumirse en las siguientes barreras técnicas y económicas:

- Para entrar al nuevo segmento del mercado, se necesita invertir en nuevas infraestructuras, procesos y capacitación para el personal.
- Es necesario capacitar a un personal adecuado para producir los nuevos componentes.
- En los primeros años, se requiere de un desarrollo mayor y más rápido para aumentar la calidad del producto y así hacerlo competitivo.

Si los primeros proyectos en marcha o planificados muestran un caso de negocio para la tecnología CSP en Chile que logre un LCOE bajo, las empresas internacionales entrarán al mercado chileno y comenzarán a desarrollar sus propios proyectos. Si las empresas locales quieren participar en la cadena de valor, especialmente en la fabricación de componentes de la tecnología, tienen que ser muy flexibles con respecto al ingreso de actores internacionales. La formación de empresas conjuntas o sociedades con empresas internacionales activas puede significar una situación ventajosa para ambas partes: La empresa chilena aprende acerca de la tecnología mientras que su contraparte internacional puede participar en el conocimiento y la mano de obra local.

Además de los incentivos públicos para la producción de energía (como tarifas especiales de alimentación o subasta de energía específica), se necesitan herramientas para reducir y asegurar los costos de financiamiento, no solo para el operador de la central CSP, sino que para todas las empresas activas dentro de la cadena de valor. Una alta percepción de riesgo resultará en financiamiento a tasas inalcanzables, lo que aumenta el LCOE. Para asegurar que el financiamiento se realice en buenas condiciones, los riesgos de inversión podrían traspasarse. También se podrían implementar concesiones financieras o mejoras en las funciones financieras del mercado.

- **Garantías públicas,** es decir, pago total o parcial de las deudas a los inversionistas (por ejemplo, garantías de créditos del Departamento de Energía de Estados Unidos, Banco Mundial, etc.) como garantías para los inversionistas de capital.

- **Inversiones públicas como préstamos en condiciones concesionarias o subvenciones** necesarias cuando el retorno de las inversiones no es suficiente para compensar los riesgos percibidos por los inversionistas privados.
- **Apoyo público a los mercados financieros** para asegurar el suministro de herramientas y productos.

Basándose en [24], un análisis realizado para Chile muestra que los compradores de electricidad asignan un valor de cobertura de contratos a largo plazo a las energías renovables, para protegerlas de la alza de los precios de los combustibles fósiles. Adicionalmente, requisitos de la RPS (Norma del Portafolio Renovable, por su sigla en inglés) aumentan el valor de la energía solar producida utilizando certificados RE (integrados en el propio portafolio o vendiéndolos). Sin embargo, como la tecnología CSP y, en especial los nuevos proyectos, todavía enfrentan riesgos y barreras tecnológicas y, en particular, barreras específicas propias del país, se necesitará del apoyo público al menos en el corto plazo.

Las experiencias sacadas de la industria FV muestran que incluso en un país económicamente estable como Chile, el apoyo de los bancos de desarrollo en los grandes proyectos puede ser beneficioso. Por ejemplo, el proyecto San Andrés (50.7 MW de capacidad instalada, región de Atacama) ha recibido créditos de la Corporación Financiera Internacional (CFI) del Banco Mundial. Otros proyectos de desarrolladores extranjeros (por ejemplo, SunEdison de Estados Unidos) han sido apoyados por sus propios países (Corporación de Inversiones Privadas en el Exterior de Estados Unidos) [25].

Durante una entrevista con Andrew Kurth LLP [26] , se indicó que los bancos comerciales también estaban dispuestos a financiar los proyectos de energías renovables en Chile siempre y cuando se cumplieran ciertas condiciones:

- El desarrollador del proyecto y la EPC demuestran una trayectoria probada.
- Se celebra un sólido PPA.
- Tecnología probada.

Con la posibilidad de incluir financiamiento comercial al financiamiento del proyecto, los costos se podrían reducir ("El mundo está lleno de capitales que buscan un retorno bueno y seguro [26]").

Normas de calidad desafiantes

Varios componentes CSP requieren altos estándares de calidad durante todo el proceso de producción, especialmente componentes con una alta exigencia de precisión (como los espejos o estructuras de soporte) o que tengan una alta demanda de resistencia (como los espejos, los tubos absorbedores o el receptor).

Existen algunas normas internacionales y estándares de calidad para los vidrios y los colectores termosolares, pero las principales normas para las aplicaciones CSP específicas están en fase de desarrollo [27]. Los estándares principales que ya se aplican son respecto a colectores térmicos (ISO 9806 and ISO9459), equipos de medición (ISO9060 and ISO9059) o vidrio (ISO9050). No obstante, el rendimiento de la central depende directamente de la precisión y de los estándares de calidad de cada componente. Para alcanzar una posición competitiva en el mercado, es fundamental suministrar productos que se acerquen a los estándares de calidad internacional y posteriormente, continuar mejorando estos estándares.

Existen dos caminos distintos para desarrollar e implementar los procesos de producción que cumplan con los estándares de calidad:

- Cooperación internacional con actores del mercado ya activos (por ejemplo, empresas conjuntas).
- Cooperación con institutos de investigación internacionales que desarrollan estándares de calidad internacionales y métodos de medición.

Además de incrementar y asegurar los estándares de calidad en la producción, también se investigan nuevos métodos para aumentar la eficiencia óptica y la durabilidad de los componentes. Estas actividades no están limitadas a la investigación académica. A modo de ejemplo, casi todas las empresas manufactureras internacionales de espejos están ofreciendo y desarrollando recubrimientos adicionales para aumentar la durabilidad de sus receptores.

RESUMEN:

• La industria CSP ofrece grandes posibilidades de empleo, no solo durante la etapa de construcción en el sitio, sino que además en la industria manufacturera y con servicios de seguimiento.
• Chile ofrece un gran potencial para centrales CSPdebido a su buena radiación solar (DNI) y la necesidad de un suministro de energía segura.
• El conocimiento sobre el mercado local es solo ventajoso si se pueden ofrecer estándares de calidad internacionales.
• Las empresas necesitan su propio I+D para adaptar sus procesos de producción al CSP.
• Las empresas participantes en la cadena de valor necesitan seguridad financiera para asumir los riesgos de inversión.
• La cooperación internacional con participantes activos del mercado o institutos de investigación ayudan a alcanzar los estándares de calidad necesarios.
• El financiamiento es un desafío, pero Chile ofrece condiciones económicas buenas y estables.
• Si los primeros proyectos muestran un nivel LCOE competitivo, el mercado CSP chileno podría desarrollarse bastante rápido.

3.2. CAPACIDADES INDUSTRIALES ESPECÍFICAS POR SECTOR EN CHILE

En base al análisis realizado en [28], los sectores industriales relevantes para Chile serían:

Ingeniería y construcción de la central

Lo más relevante para Chile es la fabricación de máquinas que se utilizan en el sector minero y de construcción. Existen varios fabricantes locales, pero debido a la alta demanda, varios componentes se compran a empresas extranjeras.

Sector de construcción

En los últimos años este sector ha estado en auge, debido principalmente, a las actividades de reconstrucción después del terremoto del 2010. En el 2013 se esperaba una desaceleración en el crecimiento. El sector industrial tiene la capacidad de construir proyectos de infraestructura a gran escala y está particularmente interesado en nuevas infraestructuras en el sector de la energía.

Producción de vidrio flotado

El grupo NSG (Pilkington) opera desde 1996 una planta de producción para vidrio flotado de alta calidad (denominado "línea de flotación") en el sur de Chile (cerca de Concepción) producido para el sector automotriz. En Sudamérica existen actualmente (2011) ocho líneas de flotación instaladas, seis de ellas en Brasil.

En general, la demanda de vidrio en Sudamérica es mayor que la capacidad de producción actual, principalmente debido a la creciente industria automotriz en Brasil y Argentina. La demanda adicional por "vidrio solar" intensificará esta situación, debido a que las líneas de flotación existentes deben ser adaptadas [29].

Sector energético

El aumento de unidades de generación eléctrica instalada es el factor principal del sector energético. Como la demanda de electricidad va en considerable aumento, la necesidad de construir nuevas instalaciones es crítica. Los proyectos grandes (como hidroelectricos) son desafiantes, por lo que el enfoque ha cambiado hacia los proyectos pequeños, en especial, en las energías no renovables como la eólica y solar (FV y CSP).

Sector minero

El sector minero quiere expandir su producción y existen varios proyectos planificados. Los desafíos principales tienen que ver con el suministro seguro de energía y la falta de agua. Otro desafío para este sector industrial es la falta de trabajadores.

RESUMEN:

Los sectores industriales relevantes están presentes en Chile y ofrecen conocimiento y capacidades ya existentes. Sin embargo, la capacidad general es limitada, especialmente en cuanto a las industrias que fabrican los componentes.

3.3. INFLUENCIA DE LA PRODUCCIÓN LOCAL EN LOS COSTOS DE INVERSIÓN

Un desafío clave a nivel mundial para el futuro desarrollo de las centrales CSP es la reducción de los costos de producción energética de las centrales, los denominados Costos Normalizados de Energía (LCOE, por sus siglas en inglés). Estos costos dependen de dos factores principales; por una parte, la inversión y los costos de operación y mantención de la central. Por otro lado, depende también de la producción general de energía, la que se ve influenciada por varios factores como la eficiencia, el concepto de almacenamiento o la ubicación.

La producción local de los distintos componentes influye en los costos de inversión de la central eléctrica. Si la producción local pudiera alcanzar costos menores por algunos componentes específicos, el LCOE de toda la central podría reducirse. Los principales factores que se deben considerar cuando se analizan estas influencias son:

- Precio de la materia prima.
- Costos de mano de obra y productividad.
- Tipos de cambios de las divisas mundiales.
- Riesgos.

Estos factores se discuten y analizan brevemente en el caso de Chile en los próximos capítulos.

3.3.1. Precios de la materia prima

Los principales componentes de una central CSP son el acero, el concreto y el vidrio. En el sur de Chile existe una línea de producción de vidrio flotado, la que produce vidrio flotado "normal". Hasta el momento, no se ha instalado ninguna línea de fabricación de "vidrio solar".

La producción de acero en Chile no cubre la demanda doméstica, por lo que se importan productos de acero desde el extranjero. El 2012 las empresas nacionales le suministraron alrededor de 1,20Mt de productos acabados de acero al mercado doméstico (liderado por Compañía Siderúrgica Huachipado (CSH) con más de 1,1Mt). Se importó más de 1,77Mt de acero acabado. Los sectores de mayor demanda de acero son la construcción y minería [5]. La Figura 3-1 indica la relación de la producción de acero en Chile en comparación con otros países de Sudamérica. Chile se encuentra en la 4ta posición.

Aunque la producción de mineral de hierro es bastante elevada (Compañía Minera del Pacífico (CMP) produjo 12,12Mt el 2012), más del 85% se exporta y solo un porcentaje de alrededor de 15% se suministra a la producción interna de acero.

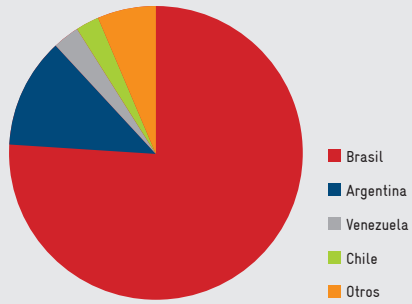


FIGURA 3-1: LA PRODUCCIÓN DE ACERO EN BRUTO EN SUDAMÉRICA, EL 2014 DE MARZO [30]

Hay otros metales disponibles (en especial el cobre), y también están disponibles las sales solares necesarias para el almacenamiento térmico, véase Figura 2-8.

Considerando el precio del acero, el mercado latinoamericano se desarrolla de manera similar al mercado mundial. La Figura 3-2 muestra desviaciones de un indicador de precios de acero en varias regiones alrededor del mundo. Este indicador se crea a partir de series de precios individuales, los cuales se ponderan según su importancia. El indicador lo calcula Platts Metal, de Londres. El comportamiento del indicador de precios para Latinoamérica es comparable con el comportamiento a nivel mundial.

Debido a las actividades de reconstrucción después del terremoto en 2010, el sector de construcción en Chile creció durante los últimos años, creando una demanda de nuevos proyectos de infraestructura [28]. Las nuevas centrales CSP compiten directamente con otros proyectos de infraestructura, especialmente en el sector energético, debido a que los servicios y materiales básicos (como construcción, cimientos o concreto) son los mismos para cada proyecto. Si hay suficiente capacidad para apoyar todos los proyectos de infraestructura, se espera un nivel de precios competitivos, aunque la demanda de trabajadores calificados es muy alta.

En resumen, las materias primas para las centrales CSP parecen estar disponibles en el mercado chileno a un nivel competitivo. El desafío principal es la demanda de productos acabados de acero y la falta de capacidad de producción. Las empresas locales activas ya están en conocimiento de esta situación y han establecido una cadena de suministros de proveedores locales distintos y experimentados.

No obstante, y teniendo en cuenta el fácil y buen suministro de sales solares para almacenamiento térmico, se espera un impacto ligeramente positivo en el LCOE de la central CSP.

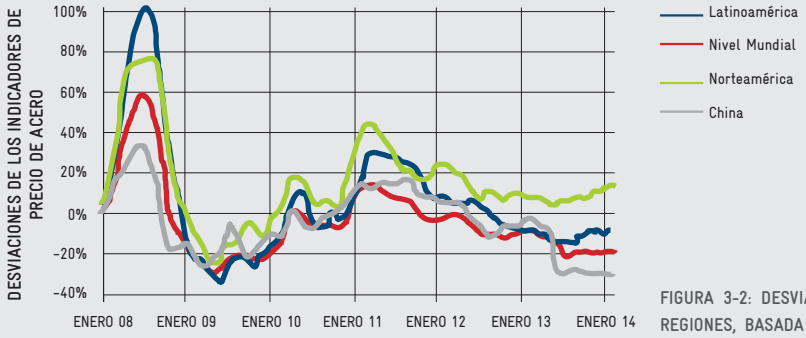


FIGURA 3-2: DESVIACIÓN DEL INDICADOR DE PRECIOS DEL ACERO EN VARIAS REGIONES, BASADA EN PLATTS METAL (STEELBB.COM)

3.3.2. Costos de mano de obra y productividad

Los costos de la mano de obra tienen un impacto importante en el LCOE. En la Tabla 12 se muestra el ingreso bruto anual de algunos puestos de trabajo relevantes para la central CSP. Para el nivel general de los costos de mano de obra de los distintos países se muestra en [31], comparado con Zúrich (100), vea la última fila de la Tabla 12.

TABLA 12: COMPARACIÓN DEL INGRESO ANUAL BRUTO DE DISTINTOS EMPLEOS EL 2012, BASADO EN [31]

DESCRIPCIÓN DEL PUESTO	ESPAÑA (MADRID)	ESTADOS UNIDOS (LOS ÁNGELES)	REPÚBLICA FEDERAL DE ALEMANIA (BERLÍN)	CHILE (SANTIAGO)
Industrial (líder)	30.300 €	30.300 €	65.000 €	21.700 €
Industrial (altamente calificado)	21.100 €	48.100 €	36.600 €	9.400 €
Industrial (poco calificado)	17.900 €	36.300 €	22.000 €	5.200 €
Ingeniería (Engineering)	40.700 €	69.900 €	55.700 €	24.700 €
General (100 = Zurich)	43,5	65,9	60,5	17,3

En comparación con los valores de España y Estados Unidos, los costos de mano de obra en Chile para trabajadores altamente calificados y poco calificados en los sectores industriales y de infraestructura son muy bajos. Asimismo, los costos laborales para servicios de ingeniería también son muy bajos. En comparación con otros países de Latinoamérica, el ingreso anual por trabajador es similar (índice global para por ejemplo, Sao Pablo 22,9; Buenos Aires 18,0; Lima 16,9). La productividad laboral no se considera en este análisis. Sin embargo, considerar los promedios de los costos de mano de obra en Chile puede derivar en una subestimación al ser la industria minera, que entrega los salarios más altos en el país, la competencia directa por los trabajadores solares industriales.

Se puede resumir, en especial para las primeras centrales CSP que no tienen suficientes trabajadores calificados y poseen una alta necesidad de capacitación, que el LCOE de la central no se ve influenciado de manera positiva por los costos de la mano de obra. Con una cantidad de capacidad instalada cada vez mayor, trabajadores calificados y alta productividad, los bajos costos de la mano de obra en Chile podrían disminuir el LCOE de la central CSP, si es que se puede mantener en el mismo nivel la precisión necesaria y la estabilidad a largo plazo de los componentes.

Además de los costos de mano de obra, la disponibilidad de trabajadores altamente calificados y poco calificados es un punto clave en el análisis de los costos laborales. Debido a la baja tasa de desempleo y la gran demanda de las empresas mineras, los nuevos puestos de trabajo en el sector CSP podrían estar compitiendo directamente con empleos ya existentes. Además, los costos más elevados de los consumibles (especialmente energía) durante la construcción podrían incluso llegar a compensar en el largo plazo los bajos costos de mano de obra.

3.3.3. Tipo de cambio y riesgos

Con la implementación de una central, se deben considerar varios factores de riesgo importantes. Estos riesgos influyen en los costos generales de la central ya que son considerados como recargo. Además, los inversionistas también consideran estos riesgos, lo que resulta en un aumento de los costos financieros. El nuevo país y su ambiente económico representan un riesgo para las EPC extranjeras y los inversionistas. Para las empresas chilenas nuevas que están ingresando al mercado, la "nueva" tecnología CSP tiene un costo adicionales. Con el mayor aumento de la capacidad instalada y de las EPC locales o al menos empresas de construcción, estos costos adicionales podrían reducirse.

En general, una cuota alta de contenido local minimiza el riesgo de los tipos de cambio. En la Figura 3-3 aparecen los tipos de cambio para el peso chileno (CLP) comparados con el dólar americano (USD) y el real brasileño (BRL). Cada divisa está relacionada con el euro (EUR). Como el peso chileno está vinculado con el dólar americano, las diferencias (y, por lo tanto, los riesgos) son menores. Los riesgos relacionados con el tipo de cambio se pudieron observar especialmente durante el segundo semestre del año 2013 con un alto incremento en los tipos de cambio de los BRL e incluso mayor en el caso de los pesos argentinos (ARS). Estar vinculado a una gran divisa internacional minimiza los riesgos relacionados a los tipos de cambio y permite que las empresas extranjeras entren al mercado local con mayor facilidad.

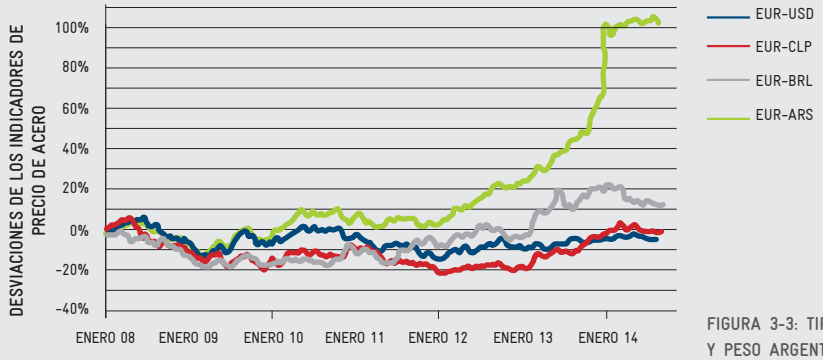


FIGURA 3-3: TIPOS DE CAMBIO DE EUR A USD, PESO CHILENO (CLP), BRL Y PESO ARGENTINO (ARS)

Se puede concluir que para las empresas extranjeras (principalmente norteamericanas y europeas) los riesgos cambiarios para invertir en las centrales CSP chilenas es más bajo que en otras regiones CSP emergentes (como Sudáfrica o Brasil) con un régimen cambiario de flotación libre. Mientras exista esta vinculación al USD, los riesgos cambiarios y todos los sobrecargos por seguridad se pueden mantener bajos.

CONCLUSIÓN:

Existen cuatro puntos claves, considerando la influencia de la producción local en la reducción de los costos de inversión de la central CSP:

• Precios de materia prima: El mercado chileno importa acero. Otras materias primas están disponibles localmente para el sistema térmico de almacenamiento, especialmente la "sal solar".

• Costos de mano de obra y productividad: Con las primeras centrales, las capacitaciones e inversiones se superponen con los bajos niveles de los costos de los créditos en Chile. Con una mayor capacidad y experiencia, los costos de mano de obra tendrán un impacto positivo en el LCOE, aunque los altos costos energéticos son un factor importante a tener en cuenta.

• Tipos de cambio: La vinculación de la moneda local a una divisa internacional minimiza los riesgos de las fluctuaciones cambiarias, lo que le permite a los participantes extranjeros entrar al mercado con mayor facilidad.

• Riesgos: Las empresas chilenas que conocen el mercado pueden ofrecen un LCOE más bajo debido a su mejor gestión de riesgos.

3.4. LECCIONES APRENDIDAS

Desde el comienzo del desarrollo de la tecnología CSP, varias lecciones se han aprendido, en especial en relación con los riesgos técnicos y económicos.

Las lecciones principales que se aprendieron de la experiencia de otros países se enumeran a continuación

- **Inversiones locales:** La incertidumbre que genera el pipeline CSP y la inseguridad de las potenciales inversiones es una importante barrera para el desarrollo de las industrias en la cadena de valor CSP. Especialmente, las empresas dentro de la cadena de valor que deben hacer una gran inversión en nuevas líneas de producción o instalaciones necesitan que el pipeline CSP de las nuevas centrales sea **predecible y estable** para cubrir su inversión.
- **Largo período de tiempo:** Para **asegurar la inversión** en nuevos pipelinesde producción, el inversionista necesita tener la seguridad de que las condiciones de borde para la inversión **no cambien** durante el período de amortización de la inversión. Por lo tanto, dichas condiciones se deben formular y asegurar durante un largo período de tiempo.
- **Competencia con otras tecnologías:** Por una parte, las centrales CSP están en directa competencia con otras unidades de generación de energía y deben ofrecer electricidad a un nivel de precio comparable. Éstas ofrecen ciertas ventajas (generación despachable, margen de reserva, etc.) que deben/pueden ser incluidos en el precio. Por otra parte, los componentes y las capacidades de producción necesarias para las centrales CSP también se utilizan para otras tecnologías tales como edificios, otras unidades de generación de energía o proyectos de infraestructura. También existen otras aplicaciones industriales para la tecnología CSP además de la generación energética.
- **Empleos sostenibles:** Los puestos de trabajo que se crean en la cadena de valor no son meramente trabajos de construcción a corto plazo. La mayoría de los **puestos de empleo creados son sostenibles** debido a que se están construyendo varias centrales en un período prolongado de tiempo.

- **El uso de los nichos:** Apostar por I+D en áreas apenas desarrolladas pero que sean de interés para el país determinado. Como ya se ha mencionado, para Chile, un nicho podría basarse en la integración de las aplicaciones de energía solar térmica en la industria minera, incluyendo el suministro seguro de electricidad y calor, o vapor industrial adicional si es necesario. Debido a la alta radiación solar y las condiciones ambientales desafiantes (carga de polvo, alta radiación UV), además de la adaptación de tecnologías ya existentes (por ejemplo, el diseño del colector solar) podría ser un nicho de I+D prometedor.

Para superar las barreras ya mencionadas, se mencionan algunas acciones clave que fueron utilizadas en otros países para permitir un crecimiento significativo de las industrias relacionadas a la CSP [32]:

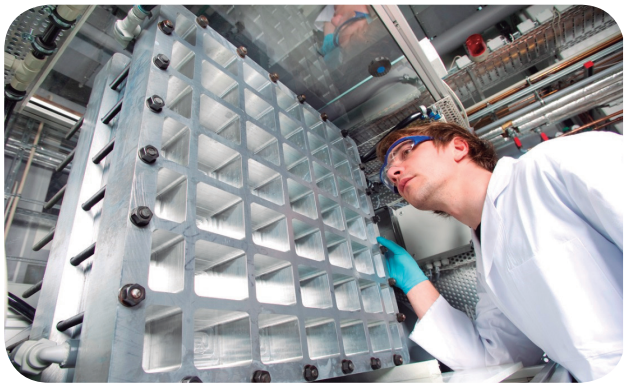
- Proveer suficientes incentivos a los desarrolladores para contrarrestar los altos costos iniciales de inversión frente al ahorro en combustible y O&M. Estos incentivos podrían ser públicos o privados.
- Evitar incentivos demasiado altos que tengan como consecuencia burbujas de inversión y altos costos sociales. El aumento de la capacidad siempre debe estar relacionado al incremento de la industria CSP local, a fin de garantizar un crecimiento sustentable.
- Aumentar la concienciación acerca de la tecnología y las ventajas para el sistema eléctrico y la industria.

También existen algunos puntos importantes que se deben tener en cuenta al crear las condiciones de borde para las industrias relacionadas a la CSP.

- Estudiar los diversos mecanismos de financiamiento público empleados en diferentes países para apoyar la CSP. Los países que comenzaron recientemente a implementar la CSP, como India y Sudáfrica, utilizan licitaciones competitivas o subastas inversas en lugar de tarifas de suministro fijas [33]. Otra opción son los préstamos concesionados como los que se realizan en Estados Unidos.
- Para que el desarrollo y diseño de una central CSP sea exitoso, se necesita un conocimiento exacto del recurso solar. Como el DNI tiene una gran influencia en los parámetros económicos de la central, se necesitan valores de medición precisos durante el transcurso de un año de la ubicación específica donde se emplazará la central. Además, la precisión de la DNI es importante, por lo tanto, se necesitan sistemas de medición probados y de alta calidad.
- Las condiciones marco para el contenido local dentro de un PPA u otros contratos de energía posibilitan un mayor contenido local. Sin embargo, las tasas fijas de contenido local podrían disuadir a los posibles inversionistas, especialmente para las centrales iniciales. Porcentajes muy altos aumentan los costos de componentes específicos. Este efecto también se ha observado en otros sectores industriales [34]. Para evitar esta sobrevaloración es necesario establecer un proceso de seguimiento constante de las tasas de los contenidos locales, o implementar tasas individuales por proyecto. Este seguimiento debe comenzar en paralelo al creciente mercado y debe ser independiente en cuanto a la tecnología. Según los resultados del monitoreo, la tasa de contenido local debe adaptarse en ambas direcciones.
- Aumentar una cuota menor del contenido local es más simple que incrementar una cuota que ya es alta. Lo primero es tratar de enfocarse en unos pocos componentes que se puedan producir localmente con una alta calidad. Es mejor importar estos componentes antes que alcanzar un alto contenido local a expensas de la calidad. Hay que asegurar que estos componentes, cruciales en la cadena de suministro, estén disponibles en calidad y cantidad suficientes.
- Una eventual solución para garantizar la I+D y la capacitación del personal se encuentra implementada dentro del programa CSP de K.A. Care (Arabia Saudita). Dentro de este programa, el 2% de las ganancias se traspasan a un fondo especial. Este fondo se utiliza para apoyar, por una parte, los proyectos de I+D relacionados con el desarrollo de la tecnología CSP y la adaptación al mercado local. Por otro lado, los fondos se utilizan en programas de capacitación destinados a trabajadores locales activos dentro de la cadena de valor de la CSP. Conforme la industria CSP crece, estas medidas aseguran un aumento de la I+D local y de instalaciones de capacitación.

No obstante, la situación en Chile es distinta si la comparamos con otros países que desarrollan la CSP. Los buenos recursos renovables especialmente para las unidades generadores de energía solar en comparación con la necesidad de encontrar PPA's privadas, pone una gran presión en la CSP para reducir el LCOE. Debido a los excelentes valores DNI combinados con el almacenamiento térmico (por un lado, entregando un suministro energético seguro y eficiente, y, por otro, un factor de capacidad en aumento), es posible una reducción mayor del LCOE comparado con el nivel promedio mundial. **El foco principal para las CSP en Chile debe ser el suministro de energías de despacho renovable a un nivel de precios competitivo.** Paralelo a ello, se debe aumentar el conocimiento acerca de las CSP como unidades generadoras de energía de despacho tanto para compradores de energía como para servicios energéticos ya existentes. Todas las actividades deben estar relacionadas a la capacidad de almacenamiento, pero no deben poner (grandes) limitaciones a otras alternativas tecnológicas (como por ejemplo, las tecnologías de co-combustión, refrigerantes u otras tecnologías de CSP). Esto tiene un impacto positivo en la creación de empleos, nuevas líneas de producción y posibilidades de I+D.

3.5. VÍAS DE DESARROLLO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA INDUSTRIA CSP



En este capítulo, se entregan algunas recomendaciones para gestionar posibles vías para una implementación exitosa de la industria CSP en Chile.

El principal objetivo de las medidas a tomar debe ser la implementación de nuevas unidades generadores de energía despachable en Chile. Es por esto que todas las medidas siempre deben conectar el almacenamiento térmico con la CSP, ofreciendo un enorme potencial para la reducción de costos y otorgándole un carácter único comparado con otros recursos naturales que están incorporándose al mercado chileno.

Estas recomendaciones están formuladas en los siguientes puntos y están basadas en los capítulos anteriores. A fin de categorizar las vías para el desarrollo, están divididas en tres secciones.

Desarrollos industriales:

- Primero que todo, **se debe incrementar el conocimiento de la tecnología CSP en Chile, con un especial foco en los compradores de energía y las compañías de suministro**. Por este motivo, se deben señalar las principales ventajas de la tecnología, incluyendo la posibilidad de integrar un sistema de almacenamiento con los posibles suministros de calor, además de las diferencias entre dos tipos de energía solar como son la FV y la CSP. Este proceso debe incluir no sólo a los compradores de energía, sino que también a todos los demás miembros en la cadena de valores. Una gran ayuda para identificar los principales actores locales dentro de la cadena de valores son los potenciales fabricantes de los componentes y los compradores de energía.
- Los potenciales actores dentro de la cadena de valores podrían **generar una cooperación internacional o negocios conjuntos** con actores internacionales, a fin de familiarizarse con la tecnología y los requerimientos típicos de los componentes específicos. Además, una red de empresas a lo largo de la cadena de valores pueden apoyar un desarrollo de la industria local, aportando a la visibilidad de los actores locales y el apoyo necesario para hacer sociedades con actores internacionales. Dichas redes deben cooperar estrechamente con los actores dominantes en la región como las empresas mineras, además de incluir todos los servicios.
- En los últimos años, la tecnología CSP se ha convertido en una tecnología industrial creciente. Los nuevos actores dentro de la cadena de valores deben lidiar con **diversos estándares internacionales y normas de calidad** [27]. Debido a que la calidad y la precisión , especialmente del campo solar tienen un impacto en los valores económicos de la central, es muy importante que los nuevos actores cumplan con estos estándares en un corto plazo.
- Las **centrales pilotos** desarrolladas por empresas internacionales o centros de investigación internacionales (o locales) junto con fabricantes de componentes locales, posiblemente ayuden a aumentar la conciencia acerca de esta energía y aportar con el conocimiento y la experiencia acerca de los requerimientos necesarios para la calidad y la precisión de diversos productos.

Tecnología e I&D:

- El **conocimiento acerca de los recursos solares** (Para la CSP la irradiación normal directa (DNI)), es un factor importante tanto para el desarrollo exitoso de una central CSP, como para el apoyo financiero internacional. Los fabricantes locales y/o los institutos de investigación locales podrían proveer estas medidas y potenciales análisis. Con la primera estación de precisión de medición de la radiación solar en el Norte Grande de Chile, denominada Crucero II (por parte de GIZ en conjunto con el Ministerio de Energía en la comuna de María Elena, Antofagasta) se han aprendido muchas lecciones que deberán ser aplicadas a nuevas estaciones.
- El desarrollo de la tecnología debe estar estrechamente relacionado con las investigaciones llevadas a cabo en institutos o universidades, además del desarrollo dentro de las mismas industrias. Esta **estrecha interconectividad** entre ambos sectores apoya el desarrollo específico.
- Las **necesidades locales por la tecnología** son un motor potente para el desarrollo de la misma. Por este motivo, las necesidades de la industria deben llevarse tambien a el sector académico.
- Para respaldar el desarrollo industrial, las universidades deben entregar las habilidades relacionadas, estableciendo con ello programas educativos especiales. Con un sector CSP en crecimiento, tanto la educación como la capacitación se convierten en factores muy importantes para garantizar que el conocimiento esté disponible y generar empleo local y.
- La **cooperación internacional** y las centrales piloto son un elemento central en el desarrollo de un mercado visible para la CSP.

Marco legal y gubernamental:

- Para cuantificar el potencial de CSP en Chile, es necesario realizar un **análisis potencial de la tecnología CSP** en el país. Este análisis potencial no incluye solamente al norte de Chile, sino que también otras potenciales regiones. El recurso solar en el norte del país es altamente prometedor, sin embargo, existen otras regiones (como al norte de Santiago) que muestran una radiación solar relativamente alta en comparación con otras regiones del mundo. Además del recurso solar, la demanda por unidades generadoras de energía despachable también debiera analizarse a fin de obtener una potencial demanda regional. Los resultados de este análisis pueden servir como retroalimentación para el **tamaño del mercado potencial en Chile dividido en diferentes categorías y regiones**, necesario para los actores nacionales e internacionales.
- El marco legal debe asegurar un desarrollo de centrales CSP **duradero y de largo plazo** en el país. Debido a que las compañías mineras buscan acuerdos a largo plazo con proveedores de energía que garanticen un suministro energético constante, esto puede ser una oportunidad de mercado prometedor para la CSP. Especialmente con un primer proyecto, la CSP debe probar en Chile que son capaces de entregar un suministro energético consistente y confiable.
- Las empresas internacionales pueden entrar directamente al mercado, ya que existen tratados de libre comercio y considerando que Chile tiene una capacidad industrial limitada. A fin de fortalecer las industrias locales, **se debe apoyar la formación de sociedades conjuntas entre empresas nacionales e internacionales,** lo que aumentaría la participación local. Si esta participación local se fijara a través de condiciones de borde por parte del gobierno, los desarrollos dentro de la cadena de valores y el valor local en la cadena de valores debe monitorearse y el marco legal debe adaptarse (en ambas direcciones) si es necesario.
- El **apoyo financiero** a largo plazo para el desarrollo de programas educativos, centrales piloto e investigación local relacionada a la tecnología CSP, brinda apoyo para el desarrollo de esta tecnología y crea nuevos empleos altamente calificados.
- Al inicio del desarrollo, se pueden emplear **incentivos tributarios** para el desarrollo de la tecnología CSP, ya que la cadena de valores de la tecnología cubre varios sectores industriales, los incentivos tributarios no deben limitarse a "productores solares específicos", sino que también a otras partes de "alto valor" tales como los intercambiadores de calor.
- Con **impuestos más altos** aplicados a los productos externos, la producción local de componentes específicos podría mejorar al evitar la importación de componentes más económicos. Sin embargo, esta medida podría subir los costos específicos de la central en una primera etapa. Asimismo, se debe asegurar que haya suficiente materia prima disponible y que la producción local cumpla los estándares de calidad.

CONCLUSIÓN:

Primero pasos para un desarrollo exitoso

- **Conocimiento de la CSP y las oportunidades para la industria local, además de los sistemas de energía deben ser presentados a los entes involucrados del mercado.**
- **Implementar primeras centrales piloto con producción local para demostrar las condiciones de borde y los estándares de calidad.**
- **Conocimiento de los recursos solares, a fin de permitir un desarrollo exitoso.**
- **Crear un marco legal a largo plazo para la industria CSP en Chile.**

4. Desarrollo estimado del mercado

Con el objetivo de estimar el desarrollo del mercado chileno en relación a la CSP, se analiza la influencia del aumento en la capacidad para CSP en el mercado.

Por lo tanto, se categoriza cada parte de la cadena de valores en base a su comportamiento esperado. Siguiendo esta dirección, cada categoría se pondera de acuerdo a su participación general dentro de la central CSP. Esta combinación es el resultado de una estimación general del contenido local y el incremento de la capacidad relacionada.

Las diferentes categorías y comportamientos ejemplares están detallados en la Figura 4-1.

A continuación, se describen las diferentes categorías y se mencionan los componentes típicos de la cadena de valores de una CSP. La asignación de los componentes específicos para cada categoría se muestra en la Tabla 13.

Algunos de los componentes de las centrales CSP no se pueden producir dentro de Chile, debido a una falta de la materia prima. Estos componentes no están asignados a ninguna de las siguientes categorías.

Categoría I

En esta categoría, se describen los componentes que no necesitan de conocimientos o requerimientos especiales. Estos trabajos, como por ejemplo la preparación del terreno, pueden ser realizados por empresas nacionales. Las partes principales de este trabajo son similares a los proyectos de gran infraestructura. En una fase inicial, se hace necesaria la supervisión y guía por parte de empresas o trabajadores experimentados, lo que se traduce en una participación limitada de empresas locales. A medida que crece la capacidad instalada, esta participación disminuye y empresas locales pueden llevar a cabo todos los trabajos necesarios.

Categoría II

Dentro de esta categoría, se describen todos los componentes que podrían ser producidos por empresas locales, pero que requieren de equipos especiales o de la adaptación de procesos productivos ya existentes. Es por esto que se hace necesaria la inversión en empresas locales. Con una capacidad instalada cada vez mayor y una perspectiva positiva del mercado, las empresas comienzan a invertir, con lo que aumenta la participación de empresas nacionales. Con un poco más de experiencia, las empresas locales comienzan a dominar el mercado, por ende, con un máximo esfuerzo, una participación del 100% es posible.

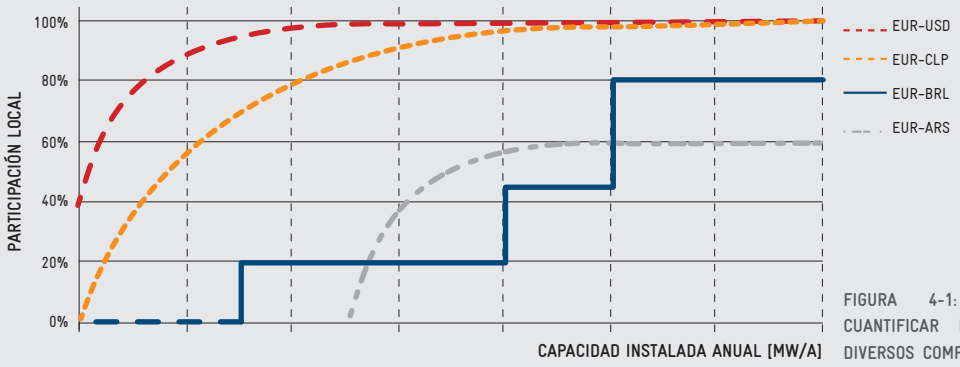


FIGURA 4-1: DIFERENTES CATEGORÍAS PARA CUANTIFICAR LOS CONTENIDOS LOCALES DE LOS DIVERSOS COMPONENTES DE LA CSP, ENOLCON 2014

Categoría III

En esta categoría, se incluyen todos los componentes que necesitan adaptaciones específicas a líneas de producción ya existentes, o la implementación de nuevos procesos productivos. Para poder asegurar la inversión en estas instalaciones, se debe lograr una cierta cantidad de capacidad instalada. En comparación con las otras categorías, el contenido local se modela mediante un comportamiento gradual y discreto. El mercado para estos componentes es dominado por operadores internacionales, por lo tanto, la participación en el mercado de empresas locales depende de la calidad de los productos y el precio de los componentes. Una participación del 100 % no es realísticamente posible.

Categoría IV

Dentro de esta categoría, se incluyen todos los componentes específicos que requieren de una gran inversión en sus líneas de producción. Estos componentes (como la turbina a vapor) necesitan de un gran despliegue de ingeniería en su proceso de diseño, además de una fabricación muy precisa. Una participación local solo es posible si las empresas productoras ya existentes comienzan a adaptar sus portafolios a las necesidades de las centrales CSP. Ya que esto requiere de un gran esfuerzo de ingeniería, este proceso de adaptación puede comenzar solo una vez que se logra un umbral mayor. Grandes empresas internacionales dominan este mercado. No es posible una participación de mercado de 100%.

En la Tabla 13 se muestra una descripción general de los distintos componentes y sus respectivas categorías asignadas. Los diferentes componentes están relacionados a su posición dentro de una central CSP, como el campo solar o el bloque generador. Los componentes relevantes para todas las partes de las centrales CSPestán definidas como partes "generales", dentro de estas se encuentran la logística, los servicios EPC o la administración del proyecto.

TABLA 13: INFORMACIÓN GENERAL ACERCA DE LOS COMPONENTES CSP Y SU ASIGNACIÓN A CATEGORÍAS

COMPONENTE	PARTES DE LAS CSP	CATEGORÍA I	CATEGORÍA II	CATEGORÍA III	CATEGORÍA IV
Construcciones	general	X			
Logística	general	X			
Gestión de Proyectos (Project Management)	general		X		
Servicios EPC	general			X	
Cableado y tendido eléctrico	general		X		
I&C				X	
Intercambiadores de calor	Bloque de potencia		X		
Tuberías	Bloque de potencia		X		
Equilibrio de la planta	Bloque de potencia		X		
Refrigeración húmeda / ACC	Bloque de potencia			X	
turbinas de vapor	Bloque de potencia	no aplicable			
Preparación de obras	Campo solar	X			
Espejos planos	Campo solar		X		
Estructura de Apoyo	Campo solar		X		
Espejos curvos	Campo solar			X	
Los tubos absorbedores:	Campo solar			X	
Receptor	Campo solar			X	
HTF – fluido térmico	Campo solar			X	
Bombas de HTF y sistemas auxiliares	Campo solar		X		
Sistemas de monitoreo	Campo solar				X
Base	Campo solar	X			
Bombas y sistemas auxiliares	Sistema de almacenamiento		X		
Intercambiadores de calor	Sistema de almacenamiento		X		
Base	Sistema de almacenamiento		X		
Recipientes	Sistema de almacenamiento	X			
Material de almacenamiento (sal solar)	Sistema de almacenamiento	X			

4.1. COMPONENTES CRÍTICOS

Tal como se muestra en capítulos anteriores, cada componente de la cadena de valores de CSP tiene su propio camino de desarrollo y sus propios requisitos. No obstante, algunos componentes pueden relacionarse entre sí, resultando en cuatro posibles comportamientos del contenido local potencial. Estas categorías fueron descritas en el capítulo anterior.

Dentro de este capítulo, se identifican los componentes principales de las centales de CSP que influyen significativamente en el valor de la central. Por esto, en la Figura 4-2 se muestra una evaluación de los costos de inversión para una central termosolar típica de 50MW con tecnología cilíndrico parabólica, además de un sistema de almacenamiento de sales fundidas de 7,5h adoptado de [35]. Estos componentes son divididos en las diferentes secciones de acuerdo al capítulo 4.

Basados en este desglose de costos, el mayor valor de las centrales se genera en la construcción de un campo de energía solar. Los servicios que pertenecen en la categoría "General" son principalmente de ingeniería, servicios de gestión de proyectos e infraestructuras. Tal como se ha mencionado, el porcentaje de almacenamiento de sales fundidas depende del material de almacenamiento.

Es un desafío determinar un volumen de mercado crítico para cada componente a fin de establecer una nueva línea de fabricación. Además, existen algunos valores clave para los componentes más críticos, basados en la información pública disponible y entrevistas directas con empresas. También hay información disponible en empresas extranjeras que están entrando al sector minero [22].

- **Tubos absorbedores:** De acuerdo a Schott Solar CSP, la primera obra de construcción podría comenzar con una cantidad equivalente a la capacidad de nuevas CSP de 150–200MW por año. Ya que los tubos absorbedores solo se emplean para sistemas de enfoque lineal, este valor es válido únicamente para centrales cilíndrico parabólicas y lineal Fresnel. Los tubos absorbedores representan aproximadamente un 6 9% del costo general de la central CSP.
- **Espejos planos:** Por lo general, se implementan varias líneas de producción en las empresas productoras de vidrio, puesto que ésta requiere de una producción continua del mismo. Ya que el vidrio utilizado en la producción de energía solar necesita otra calidad de arena en comparación con el vidrio normal (llamado "vidrio verde"), las líneas de producción deben adaptarse para luego poder utilizarse por largos periodos de tiempo, Basándose en los valores de Sudáfrica [20], se necesita una producción equivalente de vidrio entre 90-130MW por año para una utilización económica. Al llegar a una capacidad de producción de 200MW se instalarán nuevas líneas de producción. Los operadores internacionales necesitan un valor más alto para invertir en instalaciones nuevas. Se crea un valor local adicional cuando se hacen los esfuerzos logísticos necesarios.

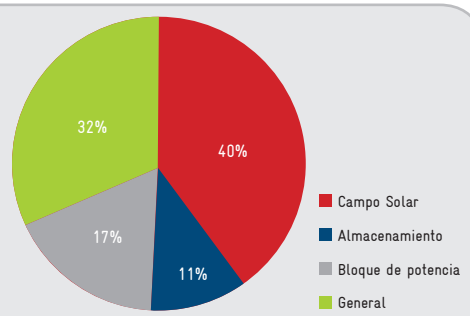


FIGURA 4-2: DESGLOSE DE ESTIMACIONES DE COSTOS DE UNA PLANTA TERMOSOLAR MODERNA, BASADOS EN [35]

- **Espejos curvos:** El proceso de producción del espejo curvo se basa en la producción de vidrio plano. En el proceso de curvado, son necesarios algunos pasos adicionales (doblado, templado) que requieren equipos especiales, principalmente respecto al tamaño de los espejos utilizados. Por esto, el volumen de mercado debe ser más alto que el de los espejos planos. Se estima que los valores deben ser entre 100-150MW para las instalaciones ya existentes. Para las nuevas instalaciones, los valores son iguales que para los espejos planos. De acuerdo a los operadores internacionales de mercado, algunas etapas del proceso final, como el de pegado de la cerámica, podrían realizarse localmente, lo que disminuye los valores de capacidad a alrededor de 50MW al año. Los espejos representan entre un 5% y un 8% del valor de la central CSP. Todo el sistema de espejos representa entre un 25% y un 30% del valor total de la central.
- **Turbinas:** Como la fabricación de turbina de vapor es un proceso muy complejo en cuanto a su fabricación e ingeniería, no es esperable que la fabricación de éstas exclusivamente para centrales CSP sea viable económicamente hablando. Es más probable que las instalaciones locales ya existentes reaccionen frente a un mercado cada vez mayor y adopten un portafolio ya existente a las necesidades de las centrales CSP, especialmente en lo que respecta al tamaño de la turbina de vapor. Se espera que eso comience con una capacidad instalada anual de 200MW. Según [34], la concentración del mercado para fabricantes de turbina de vapor es muy alta, por lo que hay solo unos pocos operadores locales del mercado en la región. Actualmente no hay fabricantes de turbina activos en Chile.

Otras partes del ciclo de agua-vapor de la central CSP, son similares al ciclo "convencional" del agua-vapor de centrales de gas o carbón. Por esta razón, se deben realizar pocas adaptaciones a los procesos de producción, haciendo posible una temprana entrada al mercado. De acuerdo a [34], los componentes eléctricos producidos localmente son especialmente desafiantes, considerando tiempo de entrega y precios.

- **Intercambiadores de calor:** Los intercambiadores de calor requieren de un trabajo de diseño detallado. Las mayores barreras para la implementación de nuevas instalaciones de producción son los derechos de propiedad intelectual y las demandas específicas (como por ejemplo, los intercambiadores de calor deben adaptarse a las necesidades de los procedimientos especiales). Por ende, solo la adaptación de las líneas de producción ya existentes hacia las necesidades de las centrales SP parecieran posibilitar la producción local. Ya que los intercambiadores de calor también son necesarios para otros sectores industriales, la industria CSP debe enfrentar esta competencia. De no haber instalaciones de producción locales disponibles, los servicios de ingeniería podrían llevarse a cabo localmente.
- **Montaje de los colectores solares y la preparación del terreno:** Los costos de la preparación del terreno y el montaje de los colectores solares son, por lo general, considerados como una participación local "natural". Como las habilidades y los equipos necesarios son similares a los grandes proyectos de infraestructura, es muy simple que empresas locales ejecuten estos trabajos. Sin embargo, la gestión de los procesos de ingeniería y monitoreo de los trabajos necesarios es específica. Por ello, se necesitan expertos con experiencia. Los trabajos para la preparación del terreno, las bases y los edificios representan alrededor del 10% al 15 % del valor total de la central, lo que por supuesto depende de las condiciones del terreno.
- **Servicios EPC** Las empresas responsables de la construcción y la ingeniería de la central CSP que operan servicios EPC son a menudo empresas que originalmente se dedican a la construcción e implementación de grandes infraestructuras o proyectos de generación eléctrica. Además de su experiencia en la gestión de proyectos a gran escala, tienen la fortaleza económica para manejar y asegurar los costos de inversión. Sólo existen algunas pocas empresas en el mundo que se dedican a entregar servicios EPC para centrales CSP. Las empresas locales que cuentan con experiencia en proyectos de similar envergadura podrían entrar a este mercado, aunque esto solo sería posible con cierto volumen de mercado limitado. El umbral estimado es en base a una capacidad instalada de 100-175MW anual.

4.2. PARTICIPACIÓN DE MERCADO ESTIMADA PARA LAS DISTINTAS CATEGORÍAS

En este capítulo se estima la participación local para las diferentes categorías basando este cálculo en los supuestos y las categorías que se mostraron en el capítulo anterior. Se asume que todas las centrales CSP cuentan con un sistema de almacenamiento térmico. Se asume que el 50% de la nueva capacidad instalada se basa en tecnología cilíndrico parabólica, 30% en la torre solar y 20% en la tecnología lineal Fresnel.

Para estimar la conducta de una categoría entera, se debe calcular la conducta de cada componente. Basados en la participación de los componentes en el valor total de la central CSP, los diferentes componentes se suman y ponderan. Por lo tanto, el comportamiento mostrado como resultado representa un promedio de todos los componentes en relación a una determinada categoría. Con este método, se puede establecer una primera estimación de la participación local en cada categoría. Este análisis podría representar sólo una primera estimación. El comportamiento de la participación local debe ser más exacto a través de un análisis de mercado más detallado, lo que no es parte del alcance de este estudio.

Tal como ya se mencionó en el capítulo anterior, no todos los componentes podrían producirse localmente, ya que existe una falta de materia prima, además de una escasa capacidad industrial (especialmente en lo relacionado a las turbinas de vapor). Por lo mismo, la suma de las participaciones siguientes no es de un 100%.

Categoría 1

Los componentes incluidos en esta categoría representan aproximadamente un 20% del valor total de la central. Este valor es levemente superior si lo comparamos al de otros países. Se incluye la participación de la sal solar, lo que compensa las reducciones debido a una capacidad industrial limitada.

La conducta estimada para la participación local se muestra en la Figura 4-3. La participación local "inicial" podría estimarse con valores levemente superiores al 50%. Basados en el crecimiento del mercado, muchas empresas locales pueden proveer los servicios necesarios, lo que junto con una mayor cantidad de capacidad instalada significaría un incremento rápido de la participación local con una capacidad cada vez más robusta.

Puesto que especialmente en las áreas de monitoreo y gestión de calidad necesitan empleados experimentados, el último 10 15% de la participación local sólo aumenta lentamente.

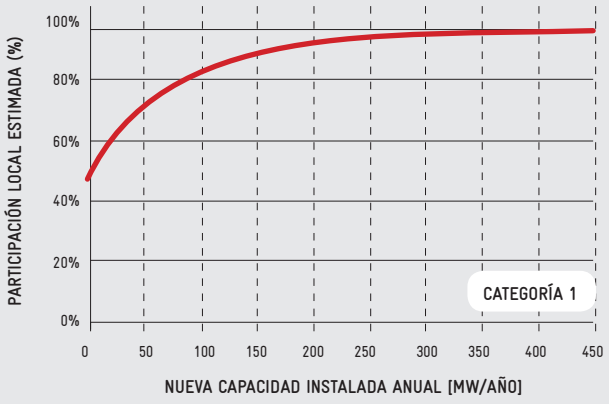


FIGURA 4-1: DIFERENTES CATEGORÍAS PARA CUANTIFICAR LOS CONTENIDOS LOCALES DE LOS DIVERSOS COMPONENTES DE LA CSP, ENOLCON 2014

Categoría 2

Los componentes incluidos en esta categoría representan aproximadamente un 42% del valor total de la central, por lo que es la participación más alta de todas las categorías.

El comportamiento estimado se muestra en la Figura 4-4. El mayor incremento en esta participación se espera con una nueva capacidad anual instalada de alrededor de 50–100MW al año. Las empresas locales que adopten productos de su portafolio o sus líneas de producción y que aumenten su capacidad basados en un mercado en crecimiento, podrían proveer especialmente componentes de acero o partes adicionales del sistema eléctrico.

Tal como en la categoría 1, la participación local del último 40% aumenta lentamente. Debido principalmente a que los operadores internacionales permanecen competitivos en la fabricación de componentes específicos, o bien porque hay componentes que solo pueden producirse si se recibe capacitación o apoyo internacional, el esfuerzo por producir esta última participación es muy alto.

Categoría 3

Los componentes incluidos en esta categoría representan aproximadamente el 17% del valor total de la central.

El comportamiento estimado se muestra en la Figura 4-5. En comparación con otras categorías, no se espera un incremento continuo, ya que se introducen nuevas instalaciones de producción o servicios. Para este análisis, se espera que con una nueva capacidad instalada de alrededor de 100MW, los servicios EPC puedan proveerse de manera local. Se asume que una empresa que brinde servicios EPC pueda construir solo una central a la vez (en el transcurso de 3 años). Con la implementación de las primeras líneas de fabricación de receptores y espejos curvos, se podría observar un gran incremento de entre 150MW y 200MW. La conducta de esta categoría es similar a otros mercados emergentes con un potencial solar importante, tal como sucede en Sudáfrica.

Se espera una participación total máxima de 60%, especialmente en lo que respecta a las empresas que brindan servicios EPC, ya que los operadores del mercado son muy competitivos y experimentados en este sector.

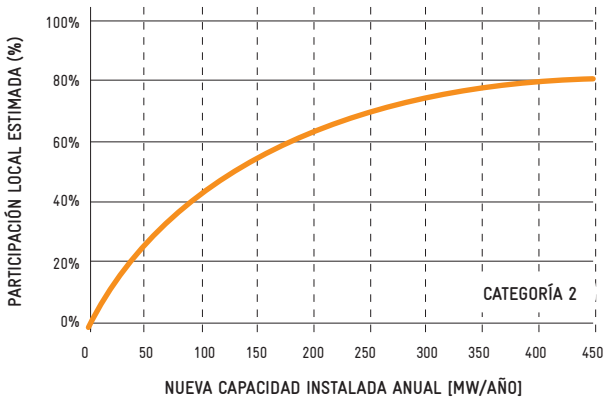


FIGURA 4-4: ESTIMACIÓN DE LA PARTICIPACIÓN LOCAL EN LOS COMPONENTES DE LA CATEGORÍA 2 EN CHILE

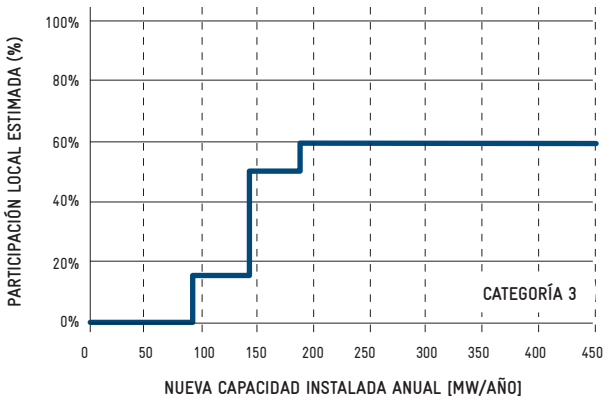


FIGURA 4-5: ESTIMACIÓN DE LA PARTICIPACIÓN LOCAL EN LOS COMPONENTES DE LA CATEGORÍA 3 EN CHILE

Categoría 4

Los componentes incluidos en esta categoría representan aproximadamente un 2% del valor total de la central.

El comportamiento estimado se muestra en la Figura 4-6. Dentro de esta categoría solo se resumen componentes altamente especializados. Tal como se mostró en el capítulo 4.1, se espera que los primeros fabricantes locales comiencen a adoptar su portafolio con una capacidad instalada de alrededor de 200 MW.

4.3. PARTICIPACIÓN LOCAL ESTIMADA

Basados en las estimaciones mostradas para cada categoría, se calcula una suma ponderada de las diferentes participaciones y comportamientos, estimando el porcentaje total general de la industria CSP para una nueva capacidad instalada anualmente. El resultado se muestra en la Figura 4-7. Naturalmente, este comportamiento es una estimación aproximada, basada en los supuestos mencionados anteriormente.

Sin embargo, el resultado puede ser dividido en cuatro secciones diferentes basados en el desarrollo y la adaptación de la industria local.

La participación local inicial de alrededor de un 20% podría ser considerada como contenido local "natural". Esto podría alcanzarse sin ninguna adaptación de la industria local.

La segunda etapa está dominada principalmente por los componentes definidos en la categoría 2. Ya que el mayor crecimiento de estos componentes está en un rango de entre 50MW y 150MW de la nueva capacidad instalada al año, el impacto en el comportamiento general es claramente visible. El valor local podría duplicarse si las líneas de producción (ya existentes) y las instalaciones se adaptan a las necesidades de la industria CSP y la capacidad industrial se extiende.

Con un futuro incremento en la nueva capacidad instalada anualmente, son necesarias mayores adaptaciones dentro de las industrias relacionadas. Con la implementación de nuevas líneas de producción y la inversión en nuevas instalaciones por parte de compañías internacionales en Chile, la participación local aumenta aún más. Con nueva capacidad instalada con valores promedio por sobre de los 200MW al año, se podría lograr la participación local de más de un 50% del total de la central CSP. A fin de asegurar la inversión en nuevas líneas de producción e instalaciones, se debe garantizar, a largo plazo, el incremento anual de la capacidad instalada.

Las adaptaciones en todos los sectores industriales relacionados a la cadena de valores de las centrales CSP son necesarias y adecuadas en la medida que la tasa de nuevas centrales excedan los 250MW por año. Con la implementación y adaptación de nuevas instalaciones y la producción local de componentes altamente específicos, la participación local de la cadena de valores de CSP podría aumentar esos valores por sobre el 60%, en comparación a cifras esperables para otros mercados emergentes. Tal como ya se ha mencionado, estos valores solo se pueden lograr si se asegura un incremento anual constante de la capacidad de las centrales CSP.

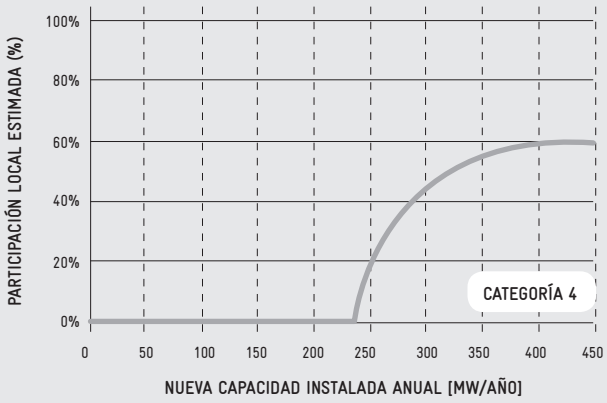


FIGURA 4-6: ESTIMACIÓN DE LA PARTICIPACIÓN LOCAL EN LOS COMPONENTES DE LA CATEGORÍA 4 EN CHILE

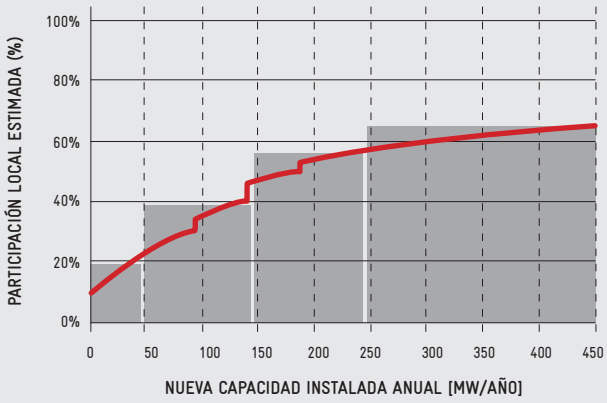


FIGURA 4-7: PARTICIPACIÓN LOCAL ESTIMADA DE LA INDUSTRIA ESC EN CHILE, ENOLCON 2014

5. Resumen y conclusión para Chile

Basado en su estructura, la cadena de valores de una central CSP cubre un amplio rango de sectores industriales, que están involucrados a través de todo el ciclo de vida de la central. Por este motivo, la producción local y las empresas de servicios se benefician de las centrales CSP, puesto que requieren componentes similares a piezas industriales comunes. No obstante, las empresas locales necesitan adaptar su portafolio de productos y sus líneas de producción, a fin de proveer los componentes necesarios con la precisión y calidad requeridas.

Casi todos los componentes de una central CSP influyen en el desempeño de la central, por eso es necesario que las empresas locales logren cumplir con las normativas internacionales en cuanto a precisión y estabilidad a largo plazo. Por ello, se hace necesario invertir en líneas de producción nuevas y actualizadas, además de capacitación y educación de sus trabajadores. La cooperación y las sociedades conjuntas (joint ventures) con operadores de mercado activos y establecidos también permiten una entrada rápida al mercado, especialmente en "mercados abiertos" como es el caso de Chile. Basados en estas cooperaciones, los operadores de mercado, tanto chilenos como extranjeros, podrían desarrollar de manera conjunta componentes nuevos y mejorados para el mercado local y, en un futuro, para el mercado internacional.

El mercado chileno ofrece muchas posibilidades y ventajas en comparación con otros mercados emergentes para las centrales CSP.

- Excelentes recursos renovables con altos valores DNI, lo que resulta en un muy buen factor de capacidad para la central, lo cual ayuda a disminuir los costos específicos de generación de energía.
- El aumento en la demanda energética con un perfil de carga homogénea, lo que resulta en un aumento de la demanda por unidades de generación de energía de despacho. Las centrales CSP con almacenamiento cubren esta demanda.
- Condiciones gubernamentales y financieras estables, que minimizan los riesgos para potenciales inversionistas extranjeros.

Dentro de este informe se muestra que se puede lograr una participación local de alrededor de 60% con un incremento anual de aproximadamente 250MW o más. A fin de alcanzar dichos valores se debe aumentar la capacidad industrial local. Por la presencia de minas de caliche y salmueras, los componentes de sales solares están disponibles de manera local, lo que resulta en un contenido local "inicial" muy alto. También se ha mostrado que solo se logra una participación local reducida si no se hacen adaptaciones o se trabaja con sociedades conjuntas en diferentes sectores de la industria. Un mercado CSP emergente necesita el apoyo y la participación activa en el mercado de empresas locales. Teniendo empresas locales activas en el mercado es posible impactar positivamente en los costos de generación de energía.

Tanto los inversionistas en centrales CSP como las empresas dentro de la cadena de valores necesitan condiciones de borde atractivas y confiables para garantizar sus inversiones en nuevas instalaciones y centrales generadoras. El marco legal debe cumplir con los siguientes principios:

- Una alta participación local debe sustentarse sin aumentar los costos de la central, lo que se produciría con una alta participación local poco realista.
- Se debe contar con financiamiento para nuevos equipos y capacitaciones para los trabajadores de empresas locales.
- Planes de acción detallados y a largo plazo para aumentar la capacidad de las centrales CSP instaladas garantizan la seguridad de inversión en base a las necesidades del estado federal y sus regiones particulares.

En Chile, la motivación para invertir en CSP se basa en la necesidad de unidades de generación de energía adicionales, entregando de tal manera energía limpia y segura mediante el uso de los excelentes recursos de energía solar. La relación precio calidad en comparación con otras fuentes de energía es uno de los principales desafíos. Mediante la utilización de sistemas de almacenamiento térmico aumenta el factor de capacidad de la central y se reduce el LCOE. Junto con la energía de despacho y el valor local que puede crearse, las centrales CSP ofrecen una gran oportunidad para el mercado energético en Chile. **Resumiendo, el foco principal de las centrales CSP en Chile debe ser el suministro de energía renovable despachable y segura a precios competitivos.**

Una cadena de valores locales sustentable y estructurada con base en las centrales CSP impacta a Chile positivamente en una variedad de aspectos:

- **Beneficios socio-económicos:** Las centrales CSP y las cadenas de valores relacionadas a ellas crean una variedad de empleos directos, no solo en los terrenos de construcción de la central, sino que también en los sectores industriales relacionados que proveen de componentes y subcomponentes. No solo se trata de empleos de baja calificación, sino también de empleos altamente calificados y trabajos académicos.
- **Desarrollo tecnológico:** La tecnología CSP se ha desarrollado en los últimos años hasta llegar a ser una tecnología más madura en lo que concierne las partes principales de la central. Aun así, hay un gran potencial de innovación en casi todos los componentes de la central, relacionados a estabilidad a largo plazo, desempeño y relación precio-calidad. En base al desarrollo local, se pueden encontrar nuevas soluciones e innovaciones para el mercado mundial.

Una implementación exitosa de la industria CSP en Chile impacta positivamente a todos los actores involucrados, no solo a los que están relacionados a la cadena de valores, sino que también a los compradores de electricidad y a las empresas productoras de energía ya existentes. Además, también podrían participar de este desarrollo actores relacionados como institutos de investigación y empresas que desarrollen proyectos. Las condiciones de borde para el desarrollo sostenible de la industria CSP en Chile están estipuladas con claridad y junto a las experiencias de otros países emergentes, se podría definir un camino para apoyar esta evolución.

6. Bibliografía

[1] J. Massey, «Three key drivers of renewable energy growth in Chile,» 22 July 2014. [En línea]. Available: www.greenpowerconferences.com. [Último acceso: 28 July 2014].

[2] A. Gazzo, C. Kost y M. Ragwitz, «MENA: Assemssment of the local manufacturing potential for CSP Projects,» World Bank, Washington DC, USA, 2011.

[3] Saint-Gobain Thermosolar, «Mirrors for Thermosolar,» 2011. [En línea]. Available: www.saint-gobain-solar-power.com/mirrors-solar-glass-7. [Último acceso: 23 01 2014].

[4] FLABEG Solar, «Best Performance, most experience: Solar Mirrors for CSP and CPV,» FLABEG Holding GmbH, Nürnberg, Germany, 2012.

[5] S. Anderson, «Minerals yearbook: The mineral industry of chile,» U.S. Geological Survey , 2014.

[6] M. Krenzlin, A. Wandelt y A. Glatz, «Erneuerbare Energien in Chile 2012: Zielmarktanalyse,» AHK Chile, Santiago de Chile, 2012.

[7] U. Herrmann y M. Pfänder, «FLAGSOL: Erfahrung aus mehr als 10 Jahren Solarfeld-Engineering,» de 16. Kölner Sonnenkolloqium, Cologne, Germany, 2013.

[8] SQM Europe, «SQM's Thermo-Solar Salts: The natural solution for thermal storage and heat transfer in your CSP plant,» SQM, Antwerpen, 2014.

[9] Schott Solar CSP, «Schott PTR 70 Receiver, the 4th generation,» Schott Solar CSP, Mainz, 2013.

[10] International energy agency (IEA), «Energy statistics: Spain,» 2013. [En línea]. Available: www.iea.org/statistics/statisticssearch/report/. [Último acceso: 20 01 2014].

[11] Protermo Solar, «Macroeconomic impact of the Solar Thermal Electricity Industry in Spain,» Protermo Solar, Madrid, 2011.

[12] Protermo Solar, «Localizacion de centrales solares termoélectricas en espana,» Protermo Solar, Sevilla, Spain, 2013.

[13] Solargis, «solargis.info,» 2011. [En línea]. Available: http://solargis.info. [Último acceso: 20 01 2014].

[14] J. Alcauza, «RREEFF, Antin and Eiser sue Spain over changes in CSP regulation framework,» CSP World, 30 12 2013.

[15] Asociación de Productores de Energías Renovables, «Estudio del Impacto Macroeconómico de las Energías Renovables en España 2012,» APPA, Madrid, Spain, 2012.

[16] G. Alvarez, R. Jara, J. Julián y J. Bielsa, «Study of the effects on employment of public aid to renewable energy sources,» Procesos de mercado. Volumen VII, 2010.

[17] U.S. Department of Energy, «DSIRE: Database of State Incentives for Renewables & Efficiency,» 2013. [En línea]. Available: www.dsireusa.org. [Último acceso: 28 1 2014].

[18] CSP Today, «CSP in the USA: A guide to domestic growth and exporting american know-how,» CSP-Today, 2014.

[19] U.S. Department of Energy, «Loan Programs 1705,» 2013. [En línea]. Available: http://lpo.energy.gov/programs/1705-2/. [Último acceso: 28 01 2014].

[20] SAGEN, SASTELA, DTI, «Assessment of the localisation, industrialistion and job creation potential of CSP infrastructure projects in South Africa,» GIZ, Pretoria, South Africa, 2013.

[21] Central intelligence agency, «The World Factbook,» [En línea]. Available: www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook. [Último acceso: 14 07 2014].

[22] J. Vasters y C. Sonnenberg, «Möglichkeiten deutscher Unternehmen für ein Engagement im chilenischen Rohstoffsektor,» AHK Chile, Santiago de Chile, 2011.

[23] M. Leitner, «Chile-attraktiver Einstiegsmarkt und gutes Sprungbrett für eine regionale Expansion,» Die Volkswirtschaft, nº 5, pp. 48-51, 2007.

[24] Inter-American Development Bank, «Chile CTF-IDB CSP Project,» IDB, 2013.

[25] C. Roselung, «Chile's solar market is leading the way in South America,» 5 6 2014. [En línea]. Available: www.theguardian.com/global-development-professionals-network/2014/jun/05/chile-renewable-energy-solar-power. [Último acceso: 7 25 2014].

[26] Andrews Kurth LLP, «Renewable energy projects in Chile: Obtaining PPAs and wining financing in a crowded marketplace,» 06 08 2014. [En línea]. Available: www.greenpowerconferences.com. [Último acceso: 08 08 2014].

[27] E. Lüpfert, «Overview on Norms and Standards for SolarEnergy Technology Relevant for CSP Development and Implementation,» de 4th SFREA Summer School, Homberg, Germany, 2013.

[28] S. Ellermann, «Wirtschaftstrends Jahreswechsel 2012/2013 - Chile,» Germany Trade & Invest, Santiago de Chile, 2012.

[29] NSG Group, «NSG Group and the flat glass industry 2011,» Nippon Sheet Glass, Tokyo, 2011.

[30] World steel association, «Crude steel production - June 2014,» 5 7 2014. [En línea]. Available: www.worldsteel.org. [Último acceso: 15 7 2014].

[31] CIO Wealth Management Research, Preise und Löhne 2012, Zürich, Switzerland: UBS AG, 2012.

[32] N. Kulichenko, «Concentrating Thermal Solar - lessons from different countries,» Worldbank, 2012.

[33] M. Stadelmann, G. Frisari, R. Boyd y J. Feas, «The Role of Public Finance in CSP: Background and Approach to measure its effectiveness,» Climate Policy initiative, 2014.

[34] O. Döhne y H. Erwes, «Oil & Gas Brasilien,» Deutsch-Brasilianische Industrie- und Handelskammer, Rio de Janeiro, Brazil, 2012.

[35] IRENA, Renewable energy technologies: cost analysis series. Concentrating Solar Power, Bonn, Germany: IRENA, 2012.