

---

# Elementos de visiones sectoriales para un futuro bajo en carbono.

## Sector Industria y Minería

---

Marzo 2016

Cita sugerida: Díaz, M., 2016. Elementos de visiones sectoriales para un futuro bajo en carbono. Sector industria y minería. Ministerio del Medio Ambiente y Gobierno de Chile, Santiago, Chile.

ADVERTENCIA: La responsabilidad principal de los contenidos de este documento es del equipo profesional de MAPS Chile. No obstante lo anterior, gran parte de los temas abordados han sido analizados gracias a la activa participación de diversos actores relevantes. El Grupo de Construcción de Visión, así como los Paneles de Expertos, y el Comité Directivo del proyecto, han tenido la oportunidad de revisar estos contenidos y, en caso de discrepancias, éstas son descritas en las secciones correspondientes.

## MAPS Chile

### Opciones de mitigación del cambio climático para un desarrollo bajo en carbono

2011-2015

## El proyecto MAPS Chile

MAPS es un acrónimo en inglés que quiere decir *Mitigation Action Plans and Scenarios*. El proyecto tiene su origen en Sudáfrica, en una iniciativa de investigación y participación de múltiples actores que investigó escenarios posibles para la reducción de emisiones de gases efecto invernadero (GEI) entre 2005 y 2008 y que se llamó LTMS, *Long Term Mitigation Scenarios*. Se han desarrollado proyectos MAPS en Brasil, Colombia, Perú y Chile; son iniciativas similares que cuentan con el apoyo técnico de Sudáfrica. MAPS ha buscado generar la mejor evidencia posible para informar la toma de decisiones sobre la mitigación del cambio climático y el desarrollo bajo en carbono en cada país. En particular, los proyectos MAPS han identificado y estudiado trayectorias probables -con distintos niveles de esfuerzo de mitigación-, analizado sus posibles consecuencias, y socializado esta información con actores clave. Estas iniciativas han contribuido significativamente a los respectivos países en sus procesos de negociación internacional, al amparo de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (UNFCCC, por su sigla en inglés).

MAPS Chile comenzó a fines de 2011, obedeciendo un mandato de seis ministros de Estado que requerían que el proyecto estudiara y entregara las mejores opciones que tiene el país para la mitigación de las emisiones de gases efecto invernadero (GEI).

El proyecto ha ocurrido en tres fases. La primera, terminada a mediados de 2012, desarrolló la Línea Base de emisiones de GEI 2007-2030 (es decir, una proyección de la economía chilena situada en el año 2006 sin considerar esfuerzos para reducir emisiones de GEI, pero incluyendo la evolución tecnológica natural de los sectores económicos) y estudió además posibles trayectorias de las futuras emisiones de GEI del país que cumplan con las recomendaciones científicas que el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) hace para el mundo. A esto último se le llamó "dominio requerido por la ciencia".

La segunda fase, terminada a fines de 2014, ha incluido: la Línea Base de emisiones de GEI 2013-2030, un conjunto de cerca de 100 medidas de mitigación, 9 escenarios de mitigación -como empaquetamiento de medidas específicas de mitigación-, junto a un análisis de los efectos macroeconómicos asociados a los distintos escenarios.

La tercera y última fase de MAPS Chile ha incluido, entre otros productos, una revisión y refinamiento de los resultados obtenidos en la segunda fase, una estimación de los co-impactos asociados a las principales medidas de mitigación, y un análisis de los posibles enfoques y medidas de mitigación para el largo plazo (2030-2050). Todos los resultados de MAPS Chile están disponibles en el sitio web del proyecto.

La dirección del proyecto ha estado en manos de un Comité Directivo interministerial, en el cual han participado representantes de siete ministerios del país: Relaciones Exteriores, Hacienda,

Agricultura, Minería, Transporte y Telecomunicaciones, Energía y Medio Ambiente. Desde su inicio, el proyecto convocó a un Grupo de Construcción de Escenarios (en la Fase 3 este grupo se designó Grupo de Construcción de Visión), instancia en la cual han trabajado continua y voluntariamente más de 60 personas de los sectores público, privado, académico y de la sociedad civil. Adicionalmente, más de 200 personas han sido parte de reuniones sectoriales de Grupos Técnicos de Trabajo. Con todo, se estima que más de 300 personas, incluyendo a los diversos equipos consultores de universidades y prestigiosas instituciones del país, han participado activamente en MAPS Chile. El financiamiento para la realización de MAPS Chile ha provenido de Children Investment Fund Foundation (CIFF), la Alianza Clima y Desarrollo (CDKN), los gobiernos de Suiza, Dinamarca y Chile, y ha totalizado cerca de 4 millones de dólares para los más de 4 años de trabajo.

# Índice de Contenidos

## Elementos de visiones sectoriales para un futuro bajo en carbono. Sector industria y minería

1.	Introducción .....	6
1.1	Elementos de visión considerados .....	8
1.2	Diferencias con respecto a lo realizado en la Fase 2 del proyecto MAPS Chile .....	10
1.3	Reflexiones acerca de los elementos de visión .....	12
2.	Captura de carbono en industria del cemento y otras .....	13
2.1	Descripción .....	14
2.1.1	Usos químicos .....	16
2.1.2	Usos en métodos de generación eléctrica .....	18
2.2	Tendencias internacionales relevantes .....	18
2.3	Barreras identificadas .....	21
2.4	Ventajas y oportunidades .....	24
2.5	Secuencialidad .....	26
3.	Eficiencia energética en nuevos proyectos mineros y metas de eficiencia energética para sectores industriales y proyectos mineros existentes .....	27
3.1	Descripción .....	29
3.1.1	Tendencias internacionales relevantes .....	31
3.2	Barreras identificadas .....	35
3.3	Ventajas y oportunidades .....	36
3.4	Secuencialidad .....	36
4.	Producción de ciclo cerrado y ecología Industrial .....	37
4.1	Descripción .....	40
4.1.1	Tendencias internacionales relevantes .....	42
4.2	Barreras identificadas .....	44
4.3	Ventajas y oportunidades .....	46
4.4	Secuencialidad .....	50
5.	Industria solar .....	51
5.1	Descripción .....	53
5.1.1	Tendencias internacionales relevantes .....	56

5.2	Barreras identificadas.....	61
5.3	Ventajas y oportunidades .....	61
5.4	Secuencialidad.....	65
6.	Desalación de agua.....	66
6.1	Descripción.....	67
6.1.1	Tendencias internacionales relevantes.....	68
6.2	Barreras identificadas.....	70
6.3	Ventajas y oportunidades .....	71
6.4	Secuencialidad.....	71
7.	Construcción Sustentable.....	73
7.1	Descripción.....	74
7.1.1	Tendencias internacionales relevantes.....	75
7.2	Barreras identificadas.....	76
7.3	Ventajas y oportunidades .....	78
7.4	Secuencialidad.....	79
8.	Plataforma de servicios mineros.....	80
8.1	Descripción.....	81
8.1.1	Tendencias internacionales relevantes.....	82
8.2	Barreras identificadas.....	86
8.3	Ventajas y oportunidades .....	87
8.4	Secuencialidad.....	88
9.	Trabajos citados .....	89

## 1. Introducción

El sector industria y minería es el principal motor de crecimiento del país y uno de los principales emisores de gases de efecto invernadero (GEI), si se incluyen las emisiones directas e indirectas de CO<sub>2</sub>. Ello hace que sea muy importante pensar el futuro del sector desde una visión baja en carbono y buscar opciones a su desarrollo basado en nuevos enfoques productivos, tratando de capturar oportunidades de mercado en las cadenas de valor globales, desde un marco de sustentabilidad y enverdecimiento de la industria. Este es un eje transversal a las medidas de mitigación de largo plazo que se proponen en este documento.

Los principales impulsores (drivers) del crecimiento industrial en la actualidad, además de la demanda interna, han sido la demanda de productos y el desarrollo de China, los acuerdos comerciales y restricciones impuestas por los países desarrollados, los sorprendentes y vertiginosos avances tecnológicos de la última década, entre otros.

Luego, en un escenario de desarrollo bajo en carbono basado en un cambio hacia una producción sustentable se imponen drivers múltiples y diversos, alternativos a los que han actuado tradicionalmente. Por una parte está la tendencia internacional que empuja hacia un crecimiento verde y la implantación de estrategias bajas en carbón. Por otra, la globalización y creciente competencia internacional obliga a las empresas a una mayor eficiencia en el uso de sus recursos. Los mercados por su parte, respondiendo a las demandas crecientes de los consumidores de países más desarrollados, están también exigiendo productos y procesos más limpios. Esto se refuerza con las regulaciones impuestas por el Estado que presionan a las empresas a cumplir con normas que cautelen la calidad de vida de sus ciudadanos. Finalmente, las comunidades locales también exigen que las empresas tengan un desempeño ambiental superior al observado hasta ahora.

Los países en desarrollo de América Latina y el Caribe (LAC), como Chile, deben desarrollar respuestas frente a estas demandas, para que su industria sea capaz de asumir el desafío impuesto, idealmente sin perder competitividad y por el contrario, aprovechándolo para generar una nueva forma de producción más afín con el desarrollo sustentable así como generando nuevos nichos de mercado. Esta respuesta ha sido hasta ahora poco sistemática y reactiva, más que proactiva e integrada. Ello impone el desafío de la búsqueda de nuevos enfoques productivos y de desarrollo bajo en carbono para la industria nacional.

La experiencia internacional en esta materia muestra que no existe un camino único para avanzar hacia el desarrollo sustentable y el logro de una industria verde. Este resulta de un proceso que requiere de un conjunto de ingredientes, cuya mezcla apropiada depende de las condiciones institucionales, económicas, sociales y ambientales de cada país.

Diversos diagnósticos muestran que el crecimiento potencial de Chile ha caído como producto del agotamiento de la capacidad de los sectores tradicionales de seguir creciendo a las tasas de los 90s. De esta forma, es necesario impulsar un modelo de crecimiento orientado a sofisticar y diversificar la economía nacional e incrementar la innovación de las empresas y sectores productivos nacionales (CEPAL, 2015) y (CORFO, 2015). Esto implica apoyar decididamente la incorporación de la innovación y la tecnología en las estrategias de desarrollo de las empresas y organizaciones en el país.

Para lograr este objetivo, de acuerdo a (CORFO, 2015), se requiere por una parte, una mezcla de políticas de incentivo horizontal a la innovación y emprendimiento, y por otro lado, políticas con foco estratégico en sectores/tecnologías de elevado potencial de crecimiento, aumento de productividad y sofisticación, que presentan fallas de coordinación que impiden aprovechar oportunidades. Ello corresponde a las políticas de selectividad estratégica para la transformación de la economía, que es la apuesta que ha tomado CORFO en sus Programas Estratégicos Nacionales del CNID, que son parte importante del enfoque que engloba a muchos de los elementos de visión aquí definidos.

Otra consideración importante que se ha tomado en cuenta para el análisis de los elementos de visión de largo plazo, para un desarrollo de la industria bajo en carbón, es la opción que la industria minera extractiva sufra un declive importante en su desempeño y aporte a la economía nacional. De esta forma, además de ser otro elemento transversal a las medidas de mitigación propuestas, este escenario de menor aporte de la industria minera a la economía nacional, se considera como uno de los desafíos a los que se debe responder con los nuevos enfoques productivos.

Los elementos de visión que se presentan en este resumen han sido recopilados a partir del trabajo realizado con el Grupo Construcción de Visión, grupos técnicos de trabajo, paneles tecnológicos y de tendencias, y la revisión bibliográfica llevada a cabo por el equipo de investigación de MAPS Chile. Se destaca que los elementos que se proponen mantienen la coherencia con las visiones o propuestas de grupos de trabajo de trabajos previos o iniciativas que se desarrollan en paralelo:

- Minería: Una Plataforma de Futuro para Chile
- Una Minería Sostenible en la Zona Central de Chile: Escenarios al 2035
- El Futuro de la Minería en Chile (CSIRO)
- Programas Estratégicos Nacionales del CNID
  - Industria solar
  - Construcción Sustentable
  - Otros
- Mesa de discusión de ley de Eficiencia Energética
- Energía 2050
- Otros

Como se mencionó anteriormente, se han considerado como un insumo fundamental para este trabajo los Programas Estratégicos Nacionales del CNID (CORFO, 2015), que se basan en el concepto de especialización inteligente, el cual:

- Apunta a fortalecer la competitividad a partir de oportunidades y desafíos de mercado
- Hace énfasis en resolver fallas de coordinación y generar masa crítica de recursos en sectores o industrias con potencial de crecimiento, para moverse a un nuevo equilibrio de mayor valor para la sociedad
- Persigue diagnosticar brechas competitivas y construir hojas de ruta para reducirlas, mediante una sólida articulación pública-privada
- Busca desarrollar bienes públicos habilitantes para la competitividad, como la formación pertinente de capital humano; mayor Inversión en infraestructura física y conectividad

habilitante; el desarrollo de una Infraestructura tecnológica común y la creación de una mejor normativa y aspectos regulatorios.

## 1.1 Elementos de visión considerados

La tabla siguiente resume los elementos de visión para un desarrollo bajo en carbono que se han identificado. Excepto las reducciones directas de CO<sub>2</sub> en la Industria, que se enfoca directamente en este ámbito, el resto de las opciones no tienen al cambio climático como el elemento movilizador de las mismas. Sin embargo, ellas son coherentes con las políticas de cambio climático y un desarrollo bajo en carbono.

En particular se ha considerado el escenario de una industria minera extractiva con menor aporte a la economía, lo que obliga a desarrollar otro tipo de negocios para Chile, en particular una importante plataforma de servicios mineros que exporte sus desarrollos al resto del continente y el mundo. Ello se complementa con otras opciones industriales novedosas que se están analizando en la actualidad.

**Tabla 1 Elementos de visión para un desarrollo bajo en carbono, sector industria y minería**

Eje temáticos	Tema
Reducciones directas de CO <sub>2</sub> en la Industria	Captura de carbono en industria del cemento y otras
Eficiencia energética	Nuevos proyectos mineros
	Metas de eficiencia energética para sectores industriales y proyectos mineros existentes
Nuevos enfoques y desarrollos productivos	Producción de ciclo cerrado y ecología Industrial
	Industria solar
	Desalación de agua
	Construcción sustentable
Industria minera extractiva con menor aporte a la economía	Plataforma de servicios mineros

A continuación se describen los temas (elementos de visión) considerados en el sector.

**Captura de carbono en industria del cemento y otras.** Consiste en el desarrollo y búsqueda de iniciativas para capturar/reutilizar las emisiones directas de GEI de la industria. Consiste en la separación del CO<sub>2</sub> emitido por la industria, su almacenamiento y su aislamiento de la atmósfera a largo plazo. Dada la incertidumbre respecto al almacenamiento del CO<sub>2</sub> bajo tierra o el mar, se explora como la opción más cercana la carbonatación mineral y reutilización en procesos e industria de alimentos y medicina, entre otros.

**Nuevos proyectos mineros.** Incentivo para que nuevos proyectos mineros consideren estándares de eficiencia energética desde la etapa de diseño, apuntando hacia el concepto de minería invisible, y considerando la minimización de otro tipo de impactos, como el uso del agua, disposición de relaves, emisiones de contaminantes, etc.

**Metas de eficiencia energética para sectores industriales y proyectos mineros existentes.**

Avanzar en reducción de consumo e intensidad energética por sobre las exigencias que defina la futura ley de Eficiencia Energética.

**Producción de ciclo cerrado y ecología industrial.** Avanzar hacia la producción de ciclo cerrado y ecología industrial. Para ello se postula la reestructuración de métodos de producción, buscando la minimización o eliminación de materiales vírgenes e integrar los sistemas de producción a través de asociaciones ambientales, parques industriales ecológicos, etc. Representa una visión integrada del impacto ambiental de los sistemas industriales, donde una planta industrial no es analizada aisladamente, sino como parte de un sistema, de manera análoga a como una especie es estudiada por los ecólogos como parte de un ecosistema. El desarrollo metodológico de la ecología Industrial coincide con la tendencia actual por parte de las empresas a verse como parte de una cadena de valor, en la que el éxito de un eslabón de la cadena no puede darse a costa de someter a una presión desmesurada a proveedores o clientes si no quiere ponerse en peligro la cadena entera.

**Industria solar.** Desarrollo de una industria de energía solar a partir de soluciones de base tecnológica que cumplan con estándares de calidad de clase mundial y precios competitivos, para mejorar sustancialmente la productividad del país y transitar hacia una economía del conocimiento, aprovechando las privilegiadas condiciones de laboratorio natural que presenta el país. Considera la industria que transforma la radiación del sol en soluciones de abastecimiento energético, cubriendo los eslabones de la cadena de valor en donde Chile cuente con ventajas potenciales, incluyendo tanto las tecnologías (ej. almacenamiento) como los servicios (ej. mantenimiento) conexos. Su alcance es la adaptación y desarrollo de las diferentes tecnologías (fotovoltaica, CSP y termosolar) para aplicaciones comerciales.

**Desalación de agua.** Desarrollo de tecnologías para conversión del agua salada en agua potable y su impulsión a los centros de consumo. Considera el uso de tecnologías eficientes para la conversión y uso de energía solar para la desalación e impulsión del líquido a los centros de consumo, en particular las faenas mineras en la cordillera.

**Construcción Sustentable.** Desarrollo de la industria de la construcción de edificaciones, en todos sus eslabones, incorporando sustentabilidad como factor adicional de competitividad, para optimizar el valor del activo inmobiliario, reducir costos de operación y acceso de edificaciones de mejor estándar y generar conocimiento asociado para un mercado global, fortaleciendo la cadena de valor desde una perspectiva holística, principalmente a través de la coordinación y articulación de actores, provisión de bienes públicos, generación de innovación y mejoras regulatorias, propiciando a la vez un cambio cultural en torno al valor de la sustentabilidad.

**Plataforma de servicios mineros.** Transición hacia una industria de servicios más desarrollada. “Programa Alta Ley: de los recursos naturales al conocimiento”. Desarrollo de una industria exportadora de tecnologías y servicios intensivos en conocimiento (METS) para atender necesidades de la minería a nivel global y también de otras industrias. Ello se enmarca en el eje Minería Virtuosa de la iniciativa “Minería: Una Plataforma de Futuro para Chile” que busca

fortalecer la competitividad y productividad y tiende a generar las condiciones para que emerja un ecosistema robusto de innovación.

En las secciones 2 al 8 se desarrollan cada uno de los elementos de visión considerados, lo que incluye una descripción de las medidas, las tendencias internacionales relevantes, principales barreras identificadas, ventajas y oportunidades, además de una temporalidad/secuencialidad asociada a su posible implementación en el largo plazo.

## **1.2 Diferencias con respecto a lo realizado en la Fase 2 del proyecto MAPS Chile**

A continuación se enumeran un conjunto de diferencias con respecto al ejercicio realizado en la Fase 2 del proyecto MAPS Chile (MAPS Chile, 2014).

- Se analizan nuevas medidas de mitigación con el objeto de avanzar hacia un desarrollo bajo en carbono, más allá de lo alcanzado durante la Fase 2 del proyecto MAPS Chile.
- Las medidas de mitigación se identifican a partir de los elementos de visión de largo plazo.
- Las medidas no son cuantificadas en términos de costos de inversión y operación como se hizo en la Fase 2 del proyecto.
- No se evalúan los impactos macroeconómicos.

En este sector se propusieron 3 tipos de medidas en la Fase 2 del proyecto, las que englobaban un total de 16 acciones específicas. De acuerdo a lo discutido con el GCV y tratando de buscar una mayor ambición en las reducciones de CO<sub>2</sub> y nuevos enfoques no considerados previamente, en la Fase 3 se definieron cuatro Ejes Temáticos que consideraron 8 medidas específicas de largo plazo. En el cuadro siguiente se resume esta evolución entre ambas fases del proyecto.

Los dos elementos que se repiten en ambas fases, Reducciones directas de CO<sub>2</sub> en la Industria y Eficiencia Energética, tienen que ver con una decisión de buscar otros enfoques o alcances distintos a los planteados en la Fase 2.

Tabla 2 Medidas de mitigación Fase 2 y Elementos de visión Fase 3, sector industria y minería

**Fase 2**

**Reducciones directas de CO<sub>2</sub>**

1. Captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub> (CAC) en subsectores de alta intensidad de emisiones de GEI

**Eficiencia Energética**

2. Instalación de cogeneración para plantas existentes
3. Recambio de motores eléctricos
4. Restricción a la entrada de motores eléctricos ineficientes, mediante MEPS<sup>1</sup>
5. Uso eficiente de la energía en la industria impulsada por auditorías energéticas y aplicación de medidas detectadas
6. Sistemas de gestión de la energía
7. Estándar (voluntario) de eficiencia energética en nuevos proyectos mineros
8. Restricción a la entrada de otros equipos industriales mediante MEPS
9. Sistemas para recuperar excedentes de calor de procesos térmicos
10. Medidas de eficiencia energética para el transporte en la minería

**Energía Limpia**

11. Proyectos de autogeneración de energía eléctrica con ERNC en plantas industriales y mineras
12. Impulso a redes más limpias introduciendo un FE basado en contratos y chequeado contra generación efectiva de esos contratos
13. Energías renovables para usos térmicos en instalaciones nuevas y existentes
14. Uso de combustibles convencionales de bajas emisiones de GEI para usos térmicos
15. Utilización de combustibles no convencionales de bajas emisiones de GEI para usos térmicos
16. Recuperación de energía potencial por transporte de material en la minería

**Fase 3**

**Reducciones directas de CO<sub>2</sub> en la Industria**

1. Captura de carbono en industria del cemento y otras

**Eficiencia Energética**

2. Nuevos proyectos mineros
3. Metas de eficiencia energética para sectores industriales y proyectos mineros existentes

**Nuevos enfoques y desarrollos productivos**

4. Producción de ciclo cerrado y ecología Industrial
5. Industria solar
6. Desalación de agua
7. Construcción Sustentable

**Industria minera extractiva con menor aporte a la economía**

8. Plataforma de servicios mineros



<sup>1</sup> Estándares mínimos de eficiencia

En el caso de las reducciones directas de CO<sub>2</sub>, en la fase anterior esta medida se planteó con un alcance de captura, transporte y almacenamiento de CO<sub>2</sub> (CCS), subterráneo o bajo el mar, con una penetración muy baja, dados los pocos antecedentes existentes y el desarrollo preliminar de la tecnología. Sin embargo, el CCS se ha desarrollado de manera muy importante en los últimos años, existiendo varios proyectos económicamente rentables, pero su etapa de almacenamiento es muy cuestionada por cierta parte de la comunidad científica y en particular por los miembros del GCV. De esta forma, se decidió reconsiderarlo en esta fase, pero sólo con un alcance de captura y uso alternativo del CO<sub>2</sub>, pensando principalmente en la industria del cemento.

En el caso de la Eficiencia Energética, dada la actual contingencia de la elaboración de una futura ley de eficiencia energética para Chile, se consideró avanzar con mayor ambición en la implementación de medidas en este sentido. En particular se considera la definición de metas de eficiencia energética para proyectos actuales y la definición de estándares de diseño de nuevos proyectos mineros, considerando la eficiencia energética como una variable relevante.

### **1.3 Reflexiones acerca de los elementos de visión**

El concepto de “Ciclo Cerrado y Ecología Industrial”, junto a una adecuada gestión territorial, se ha reconocido como clave para impulsar sectores productivos más colaborativos, que avancen hacia un desarrollo sustentable y bajo en carbono. De esta manera, un enfoque de integración de sistemas de producción con iniciativas como simbiosis industriales, asociaciones ambientales, parques industriales ecológicos, proyectos mineros colaborativos<sup>2</sup>, etc. es la nueva tendencia que puede fomentar estos nuevos desarrollos. Para lograr apoyar este tipo de iniciativas es fundamental contar con regulaciones que las estimulen. Ello incluye el sector residuos (a través de la REP), entre otras.

Por otra parte, se deben hacer los esfuerzos para superar la brecha declarada por los actores del sector acerca de la baja calidad de la información respecto a los consumos energéticos de las industrias. Esta es una barrera central en el desarrollo de metas y estándares de eficiencia energética en los procesos industriales (y en los de sus empresas proveedoras) que apunten a una reducción futura de las emisiones de GEI.

Como se mencionó previamente, se han evaluado dos escenarios de desarrollo productivo, en particular del aporte esperado de la minería del cobre. En el caso de un probable escenario de continuidad del modelo productivo basado en recursos naturales, se debe fomentar el uso de energía más limpia en la industria, a través de la eficiencia energética, el uso de energéticos con baja intensidad de carbono, la captura y uso del CO<sub>2</sub>, entre otros.

Por el contrario, ante un escenario de baja en la producción minera (cobre, principalmente) se debe potenciar el desarrollo de nuevos servicios productivos, bajos en emisiones de GEI, capaces de contrarrestar el menor aporte al PGB. Entre las medidas que se han propuesto destacan el desarrollo de una Industria de servicios relacionados de la minería (METS), el apoyo y promoción a la Industria solar y la Construcción sustentable.

---

<sup>2</sup> Como el Proyecto minero Corredor que combina los proyectos El Morro y Relincho ([www.proyectocorredor.cl](http://www.proyectocorredor.cl))

## 2. Captura de carbono en industria del cemento y otras

Más del 60% de las emisiones en la producción de cemento provienen de la descomposición de piedra caliza; el resto son de la combustión de energéticos o emisiones indirectas de la electricidad.

Las emisiones de las plantas de cemento pueden ser reducidas, entre otras opciones, aumentando la eficiencia energética, mediante el uso de combustibles alternativos (por ejemplo, biomasa de segunda generación o productos de desecho), reduciendo la proporción de cemento a clinker o mediante el uso de materias primas alternativas, o por la implementación de Captura y Almacenamiento de Carbono (CCS). El CCS puede reducir las emisiones de la descomposición de la piedra caliza.

Capturar/reutilizar las emisiones directas de GEI de la industria consiste en la separación del CO<sub>2</sub> emitido por la industria, su almacenamiento y su aislamiento de la atmósfera a largo plazo.

Para el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), CCS ofrece el potencial de reducir los costos generales de la mitigación junto con aumentar la flexibilidad de alternativas para lograr reducir las emisiones. En esta línea, en el marco de las negociaciones internacionales para el cambio climático, el 2011 en Durban, se aprobaron las modalidades y procedimientos para incluir CCS como parte del Mecanismo para el Desarrollo Limpio (MDL). Por su parte, la Agencia Internacional de Energía (AIE), desde el año 2010 considera la tecnología CCS como una alternativa estratégica y rentable a largo plazo para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> de los usos industriales, donde de no ser aplicada para disminuir a la mitad las emisiones al 2050 (con respecto al 2005), los costos totales de las reducciones aumentarían en un 70%.

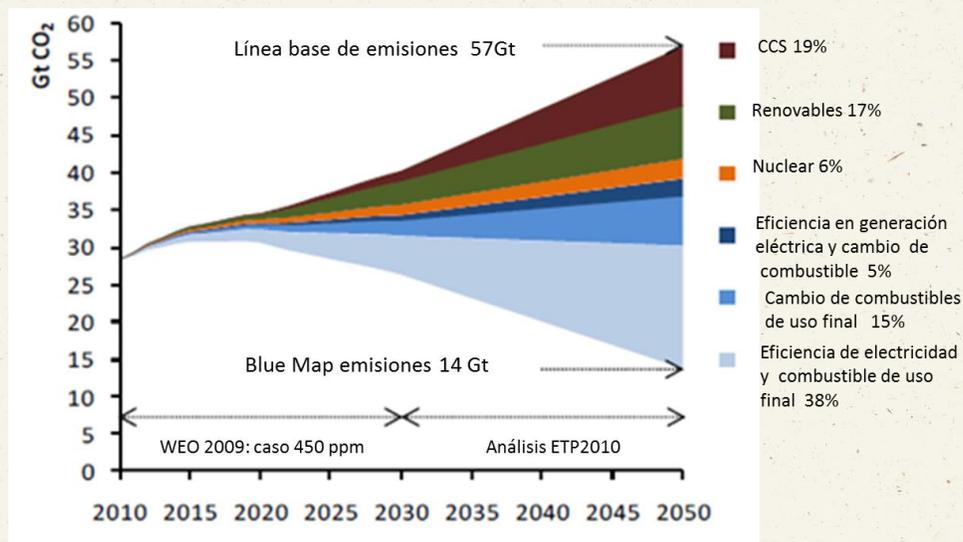
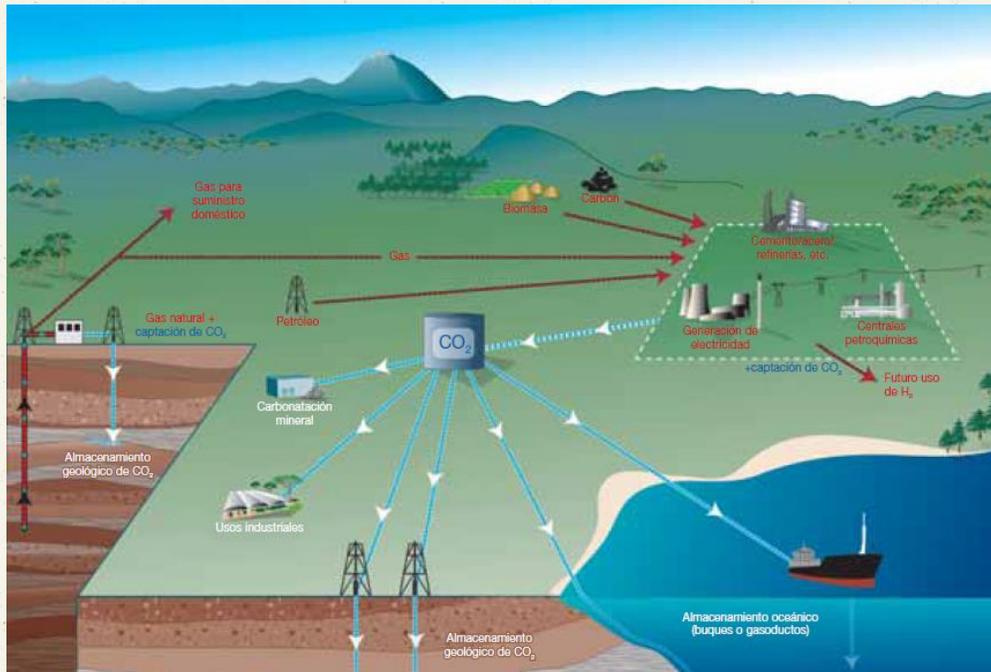


Figura 1 Contribución en mitigación de diferentes estrategias  
Fuente: (IEA, 2010).

## 2.1 Descripción

La tecnología de captación y almacenamiento de dióxido de carbono consta de tres fases: captación, transporte y almacenamiento. La captación consiste en la separación del CO<sub>2</sub> de otros productos gaseosos producidos cuando los combustibles fósiles son quemados para la generación de energía u otros procesos de la industria. Actualmente, la separación de CO<sub>2</sub> de otros productos gaseosos se realiza como parte de un número importante de procesos industriales estándar. De acuerdo a las estimaciones actuales según el estado del arte de la tecnología de CCS, sería posible capturar entre el 85% y el 95% del CO<sub>2</sub> tratado en una planta.



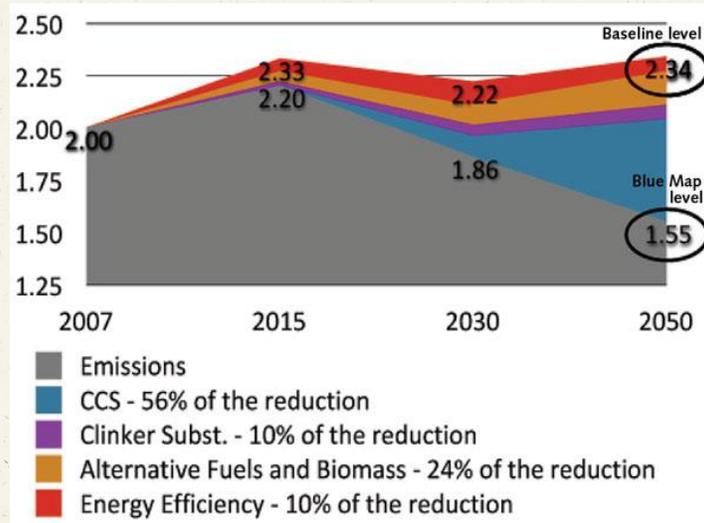
**Figura 2 Diagrama esquemático del ciclo de CCS**  
Fuente: (IPCC, 2005).

Las opciones tecnológicas para CCS en el cemento son procesos de alta temperatura que se pueden integrar en varias combinaciones:

- Captura post-combustión (no afecta procesos de la planta de cemento)
- Oxi-combustión (capta alrededor del 90%, o proceso parcial alrededor del 60%)
- Captura de pre-combustión (este método no logra captar las emisiones de descomposición de la caliza).

Estas opciones fueron estudiadas en la Fase 2 del proyecto MAPS Chile, a nivel integrado para todos los sectores productivos de la industria y para el sector generación eléctrica, pero no tuvieron un impacto importante y más bien presentaron una serie de barreras y problemas relacionados con el almacenamiento del CO<sub>2</sub>. De esta forma, y dada la tendencia actual que se encuentra desarrollando la industria internacional del cemento, junto con algunas iniciativas preliminares en la industria nacional, se estudia la opción de la captura y uso del CO<sub>2</sub> en procesos e industrias complementarias.

La captura (y eventual almacenamiento) de CO<sub>2</sub> es una opción analizada por la industria a nivel mundial para reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero. En la figura siguiente se aprecia la proyección mundial de emisiones de la industria al año 2050 y las posibles opciones de mitigación. Como se observa, las emisiones de la línea base aumentan a 2,34 Gt CO<sub>2</sub> en el 2050 y con las opciones de mitigación, se espera reducir 0,79 Gt CO<sub>2</sub>, donde el 56% de esta reducción se lograría con el CCS.



**Figura 3 Proyección mundial de emisiones de CO<sub>2</sub> y potenciales de reducción (Gt CO<sub>2</sub>).**  
 Fuente: ICR (2013). Incluye emisiones indirectas por consumo electricidad

Si bien el almacenamiento es la principal vía a gran escala para evitar la emisión de CO<sub>2</sub>, existen opciones adicionales y relacionadas al proceso del CCS que pueden desarrollarse a mayor escala y ser una opción de interés en el futuro en distintas industrias de interés como parte de la cadena productiva o como insumo para el desarrollo de productos. Ellos se describen a continuación.

En la mayoría de los casos se presenta una pequeña descripción del uso y se intenta cuantificar/cualificar la magnitud de los volúmenes requeridos. Para esta cuantificación se hacen supuestos y aproximaciones respecto a condiciones mundiales que permitan obtener los grandes números que den una idea comparativa del uso del CO<sub>2</sub> respecto a las emisiones<sup>3</sup>.

Existen una serie de usos del CO<sub>2</sub> en el caso de la medicina, donde es utilizado como complemento a la liposucción y en otros tratamientos de menor impacto. También existen usos en tratamiento de aguas residuales, desarrollo de materiales, entre otros. Ellos no se describirán con mayor detalle puesto que se estima que no representan volúmenes significativos de CO<sub>2</sub> al año.

Por otra parte, existen usos posibles en la industria del hidrógeno y en el desarrollo de combustibles sintéticos que podrían ser de interés a futuro. Ello no ha sido desarrollado en este

<sup>3</sup> Por ejemplo, un extintor de CO<sub>2</sub> promedio tiene una capacidad de 10 kg de dicho gas. Suponiendo que hay un extintor cada 2 autos en el mundo y hay 1.000 millones de autos, equivale a 5 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>. Para ajustar por edificios, oficinas, industrias, servicios de emergencia, etc., se multiplica por 5. Con ello, el estimado total resulta en 25 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>.

estudio, debido a que engloba problemáticas y evaluaciones que van más allá del alcance de esta revisión.

### 2.1.1 Usos químicos

**Uso en biolixiviación:** La biolixiviación es el proceso en el cual se disuelven minerales obteniendo el metal de valor ahí presente, usando microorganismos autótrofos y aeróbicos, mejorando el desempeño de los métodos tradicionales. Es un proceso químico, donde es necesaria la presencia de agua, oxígeno y CO<sub>2</sub> atmosférico.

A escala comercial la biolixiviación es ampliamente usada en la minería del cobre, el oro y el uranio. La tecnología de biolixiviación también ha sido probada en laboratorios para sulfuros de cobalto, galio, molibdeno, níquel, zinc y plomo.

La capacidad autótrofa de los microorganismos, les permite sintetizar sus componentes celulares a partir de compuestos inorgánicos, como la fijación del CO<sub>2</sub> de la atmósfera. Se alimentan de los minerales de los que obtienen energía y realizan esta tarea como parte de sus procesos metabólicos. También se caracterizan por ser organismos que viven en condiciones extremas (extremófilos), en este caso, las normales de los minerales: pH ácido y altas concentraciones de metales (COCHILCO, 2009).

**Cantidad de CO<sub>2</sub> utilizado:** Muy bajo. Del orden de cientos de toneladas al año.

**Uso en el control del Ph:** Por su propiedad de ácido débil e inerte, al estar disuelto en agua, el CO<sub>2</sub> es usado para el control del pH de sustancias peligrosas en diferentes industrias. Reemplaza para tales efectos al ácido clorhídrico y al ácido sulfúrico, con la ventaja de ser no-corrosivo y mantenerse en niveles de pH inofensivos, a diferencia de estos dos últimos (Duarte, 2009).

La curva de acidificación de sustancias -por medio del uso del CO<sub>2</sub>- es suave y controlada (Astisensor), no alcanzando nunca un pH agresivo y por lo tanto, no habiendo riesgos de sobre acidificación.

Es inofensivo también para los materiales, ya que no hay desgaste de tuberías y contenedores en su manejo operacional. Tampoco hay riesgo de quemaduras ni intoxicación por exposición, reduciendo el número de accidentes laborales por este motivo. En síntesis, es una sustancia económicamente barata y segura de usar y manipular al mismo tiempo (Cortes, 2003).

**Cantidad de CO<sub>2</sub> utilizado:** Muy bajo. Del orden de miles de toneladas al año.

**Uso en transformación en biofuel:** Convertir el CO<sub>2</sub> + hidrógeno en metanol (CH<sub>3</sub>OH) es una técnica conocida desde 1905, cuando la compañía internacional BASF desarrolló una técnica para obtener biocombustible por fermentación de gases.

El desarrollo tecnológico ha hecho posible reemplazar este método por otros con mejores indicadores de desempeño. El mejor ejemplo hasta ahora es el de Islandia, en 2012, donde la *Carbon Recycling International Company* obtuvo metanol útil a partir de la electrólisis del H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> capturado y electricidad generada a partir de plantas de geotermia, principal forma de generación eléctrica del país nórdico. Durante la década del 2000 la UE había financiado las investigaciones

que finalmente demostraron la factibilidad y validez del método usado en Islandia (Universita di Messina, 2008).

Los resultados obtenidos en Islandia fueron inéditos, se obtuvo una eficiencia del 1% -triplicando el desempeño considerado hasta el momento como *el estado del arte*- y costos energéticos variables, dependiendo de dónde se lleva a cabo el proceso, cómo sea capturado el CO<sub>2</sub> y cómo sea generada la electricidad usada.

Dentro de los usos económicamente competitivos de la producción de metanol, se consideran otros más localizados, por ejemplo, el uso como amortiguador o *buffer* de la electricidad generada por sistemas eólicos, solares y otros de carácter variable o impredecible. En efecto, cuando estos sistemas generan más electricidad de la que es necesitada, puede usarse esa diferencia a favor para producir metanol y almacenar energía.

Este uso se desestimó para Islandia y los Países Bajos, por la composición de su matriz energética, pero se destacó su potencial en países grandes, intensivos en generación eléctrica eólica y solar, como es el caso de Alemania, que además ha registrado indicadores de sobre-generación considerables en el pasado (Kauv, 2012).

En Chile se encuentran en desarrollo algunas iniciativas de este tipo, entre las que destacan dos Consorcios Tecnológicos financiados por Innova CORFO, los que hasta la fecha se encuentran a nivel de proyectos pilotos.

**Cantidad de CO<sub>2</sub> utilizado:** Muy bajo. Del orden de miles de toneladas al año. En una etapa de desarrollo futuro, a gran escala, podría llegar a millones de toneladas al año.

**Uso en el relleno de extintores:** Los extintores rellenos con CO<sub>2</sub> es una tecnología adoptada a principios del siglo XX en las industrias de altos riesgos laborales. Por sus propiedades químicas, es usado principalmente para apagar focos de fuego en presencia de gases/líquidos combustibles y en presencia de fuentes eléctricas. Actúa como agente enfriador y sofocador. Es fácilmente comprimible para el relleno y limpio posteriormente a su utilización (Ávila, 2008).

**Cantidad de CO<sub>2</sub> utilizado:** Bajo. Del orden de decenas de millones de toneladas al año.

**Uso en refrigeración industrial:** El CO<sub>2</sub> fue uno de los primeros refrigerantes naturales usados en máquinas de refrigeración por compresión. Su uso se hizo común a fines del siglo XIX, principalmente para su utilización como hielo seco en embarcaciones refrigeradas, pero también para otras industrias en tierra.

A mediados del siglo XX, fue reemplazado por refrigerantes sintéticos clorofluorocarburos (CFC) e hidroclofluorocarburos (HCFC) de menor costo e igualmente seguros, pero altamente contaminantes. A fines de siglo, Europa, EEUU y los países industrializados en general, han discontinuado su uso y fomentado el uso de refrigerantes sustitutos, como el originalmente usado CO<sub>2</sub> (Cavallini, 2012).

**Cantidad de CO<sub>2</sub> utilizado:** Muy bajo. Del orden de miles de toneladas al año.

**Carbonatación del cemento:** El cemento industrial para la construcción, es puesto a prueba constantemente, con el objetivo de mejorar su desempeño. Esto debido a que sus características – como dureza, pH, impermeabilidad, etc.- se ven alterados durante su vida útil por condiciones

naturales, como la exposición al aire y la humedad del exterior. También se ha comprobado un lento proceso de encogimiento propio a las características del cemento.

La carbonatación acelerada del cemento durante su fabricación es capaz de minimizar el efecto de encogimiento por varios años. Además, mejora su dureza y fuerza. También, logra un mejor desempeño de impermeabilidad y disminuye la porosidad del cemento (Crawford, 1958).

Además, este proceso ha sido sugerido como tecnología de mitigación de las emisiones de CO<sub>2</sub> del mismo proceso de fabricación del cemento. Capturando el CO<sub>2</sub> emitido y a través de un proceso termodinámico –a presión y temperatura particulares- es posible hacerlo reaccionar de forma estable con el cemento fabricado.

**Cantidad de CO<sub>2</sub> utilizado:** Bajo. Del orden de decenas de millones de toneladas al año<sup>4</sup>.

### 2.1.2 Usos en métodos de generación eléctrica

**Uso en reemplazo del agua en geotermia:** La tecnología patentada por científicos de la Universidad de Minnesota en 2011, llamada *CO<sub>2</sub>-Plume Geothermal System*, reemplaza el agua típicamente usada en la geotermia, por CO<sub>2</sub> a alta presión, resultando ser mejor transportador del calor subterráneo para los sistemas de generación eléctrica (Pruess, 2009). El CO<sub>2</sub>, por sus propiedades químicas, viaja de forma más fluida a través de la roca porosa, absorbiendo calor con mayor facilidad. Este hecho, haría posible implementar sistemas geotérmicos donde antes –por razones económicamente rentables- no era factible hacerlo (Carpenter).

La técnica utiliza sólo CO<sub>2</sub> capturado y reutiliza las emisiones en el acto, por lo que se considera una huella de CO<sub>2</sub> negativa.

Sin embargo, se advierten algunos problemas que requieren atención. El CO<sub>2</sub>, al ser menos denso que el agua y a la vez menos viscoso, aumenta las probabilidades de escapes verticales durante la inyección. También se advierte la probabilidad de escapes horizontales entre pozos (Nordbotten, 2004).

**Cantidad de CO<sub>2</sub> utilizado:** Interesante. Se puede almacenar 1 kg/s por MW de capacidad instalada de geotermia, equivalente a una planta de generación en base a carbón de 3 MW (Spycher & Pruess, 2009).

## 2.2 Tendencias internacionales relevantes

La captura de carbono corresponde a una tecnología en desarrollo, que se ha implementado principalmente a nivel piloto para el almacenamiento subterráneo y en pequeñas cantidades para usos del CO<sub>2</sub>, como bebidas gaseosas, extintores, etc.

---

<sup>4</sup> Si bien los resultados dependen del tiempo de exposición, condiciones de temperatura, presión, concentración de CO<sub>2</sub> aplicada y método utilizado; se ha estimado que –dado el nivel de eficiencia alcanzado experimentalmente para el proceso y la producción anual de cemento en Chile- es posible estimar una demanda de CO<sub>2</sub> para estos fines del orden de 50 Mt al año.

El primer proyecto comercial de captura de carbono e instalaciones para su utilización en una planta de cemento corresponde al Proyecto Capitol SkyMine<sup>5</sup> en USA, que captura 75.000 tCO<sub>2</sub> anual (desde octubre, 2014) y compensa otras 225.000 toneladas de emisiones anuales de CO<sub>2</sub> de Estados Unidos por el envío de productos químicos con balance negativo de CO<sub>2</sub> al mercado, desplazando productos intensivos en emisiones de CO<sub>2</sub>. El proceso también elimina mercurio, metales, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y de partículas - y devuelve aire y agua limpios al ambiente.

Capitol SkyMine produce insumos utilizables y comercializables como el bicarbonato de sodio, blanqueadores y ácido clorhídrico que se pueden vender a través de contratos químicos (off-take), y generar ingresos anuales incluso sin un mercado activo de créditos de CO<sub>2</sub>. El proyecto está tradicionalmente financiado con deuda, a precio fijo, con rendimiento en condiciones de servidumbre y dentro del presupuesto. Se espera que Capitol SkyMine genere aproximadamente US\$ 48 millones en ingresos y US\$ 28 millones en ganancias anuales, a partir del uso de las emisiones de gases de efecto invernadero que anteriormente habrían sido liberadas a la atmósfera.

Otro proyecto comercialmente activo corresponde a la Planta embotelladora Itabirito. En esta iniciativa, la empresa "Union Engineering", apoyó el desarrollo de una planta de captura de CO<sub>2</sub> de la compañía "Air Liquide Brasil", como parte de un acuerdo mundial para compañías de suministro de bebidas Coca-Cola. En este contexto, se desarrolló una planta con captura de CO<sub>2</sub> para su nueva planta embotelladora en Itabirito, en Minas Gerais, Brasil (Zero Emission Resource Organisation, 2012). Union Engineering cuenta con más de 600 plantas de referencia en todo el mundo. Es líder mundial en tecnología de CO<sub>2</sub> y tiene su sede en Dinamarca, y oficinas de ventas y servicio en Brasil, China, Dubái, Singapur y los EE.UU (Union Engineering, 2012).

En el largo plazo, el contrato de construcción, funcionamiento y transferencia entre Coca-Cola y Air Liquide combina en terreno la producción de electricidad y CO<sub>2</sub>, el cual es capturado de los gases de combustión de las instalaciones de generación de energía y purificado para su uso en fabricación de refrescos. El proyecto apunta a ser auto-suficiente con el fin de garantizar un suministro fiable de CO<sub>2</sub> y reducir los costos de logística. Esta tecnología de captura de carbono asegura al cliente el CO<sub>2</sub> necesario, en un mercado con escasez de dióxido de carbono. Una característica importante de la planta es un diseño que ahorra hasta el 75% de consumo de agua en comparación con instalaciones similares. Al estar situado en una zona con escasez de agua, esto es muy importante (Union Engineering, 2012).

El proyecto combina la producción in situ de energía y CO<sub>2</sub>. El CO<sub>2</sub> de los gases de escape es capturado y purificado hasta alcanzar los niveles de pureza acordes con los requisitos de calidad de bebidas. Además de la reducción en las emisiones de CO<sub>2</sub>, la planta también reduce la emisión de óxidos de nitrógeno. En toda la producción in situ de CO<sub>2</sub> a partir de los subproductos elimina la necesidad de transporte por carretera entre el lugar de producción y suministro (Union Engineering, 2012).

Este proyecto es de mediana escala, fue lanzado el 2011 y terminado a fines del año 2014. La inversión fue de 258 millones de dólares (Zero Emission Resource Organisation, 2012), (Rigueira, 2011) y (Sentido Común México, 2015).

---

<sup>5</sup> <http://skyonic.com/projects/capitol-sky-mine-plant>

Las etapas de la tecnología comprenden:

- Tipo de captura: post-combustión (Zero Emission Resource Organisation, 2012).
- Tipo de transporte: ninguno (Zero Emission Resource Organisation, 2012).
- Tipo de almacenamiento: uso del CO<sub>2</sub> aplicado a la industria (Zero Emission Resource Organisation, 2012).

Existen una serie de iniciativas y proyectos piloto que se encuentran en desarrollo en el mundo, pero que no han logrado alcanzar niveles comerciales, de acuerdo a la información recopilada hasta la fecha. Algunos de ellos se listan a continuación, con sus principales características:

- Calera Corp. (California) pretenden desarrollar un método para que la producción de cemento absorba más CO<sub>2</sub> que el que emite (captura y secuestro de carbono) (Scientific American, 2008).
  - ✓ Realiza la transformación de CO<sub>2</sub> → Carbonato → Cemento
  - ✓ Tiene un rendimiento de 0,4 tCO<sub>2</sub> almacenado por tonelada de cemento
- Carbon Sciences (California): mezcla de cemento con emisiones de plantas de energía y material de desecho de la producción de carbón y acero (Scientific American, 2008).
- Carbon Sense Solutions (Canadá): re-direcciona emisiones de las plantas de hormigón prefabricados en cemento nuevo. Estiman que hasta 120 kg de CO<sub>2</sub> por tonelada de hormigón prefabricado es secuestrado durante el proceso de curado (Global CCS Institute, 2011).
- Novacem (Londres): producirá cemento de silicato de magnesio con balance negativo de carbono (MIT Technology Review, 2010).
- Noruega<sup>6</sup>: proyecto de prueba de captura, en una planta de capacidad de 1.050.000 toneladas de clinker y 1,3 millones de toneladas de cemento. El proyecto intenta capturar alrededor de la mitad de 800.000 t de emisiones anuales de CO<sub>2</sub>.
- EE.UU.: en dos plantas de cemento pre-existent<sup>7</sup>; la primera corresponde al Proyecto Capitol SkyMine. El segundo, un proyecto de demostración que espera almacenar hasta 1 millón de toneladas de CO<sub>2</sub>.

Otros países que presentan opciones de proyectos comerciales o demostrativos son Corea del Sur<sup>8</sup> (2 proyectos de demostración al 2014<sup>9</sup>, 2 comerciales al 2020); Polonia<sup>10</sup> (1 proyecto de demostración al 2009).

<sup>6</sup> <http://www.zeroco2.no/projects/norcem-cement-plant-in-brevik-norway>

<sup>7</sup> <http://skyonic.com/wp-content/uploads/2014/12/News-Release-Capitol-SkyMine-Grand-Opening-October-20-2014.pdf>,  
<http://www.zeroco2.no/projects/cemex-houston>

<sup>8</sup> <http://www.zeroco2.no/projects/south-korea>

<sup>9</sup> <http://www.zeroco2.no/projects/korea-ccs2>

<sup>10</sup> <http://www.zeroco2.no/projects/countries/poland>

### 2.3 Barreras identificadas

Para identificar las principales barreras y riesgos asociados a esta tecnología se realizaron entrevistas a actores de diversos sectores en Chile, aprovechando un estudio reciente desarrollado por el equipo de MAPS Chile. Adicionalmente, se consultó la experiencia a nivel internacional en el desarrollo de proyectos de demostración y las lecciones que se puede aprender de su desarrollo.

De acuerdo a estos antecedentes se identifican como principales barreras a ser abordadas en Chile, para facilitar la adopción de la tecnología de captura (y eventual almacenamiento), las siguientes:

- a) Falta de capacidades técnicas e institucionales para responder a las condiciones de partida en cuanto a la generación de estudios de viabilidad técnica para la captura y el almacenamiento seguro.
- b) Falta de capacidades técnicas e institucionales para generar sistemas de gestión de calidad, monitoreo, verificación y alternativas de remediación.
- c) Requerimiento de adaptación de aspectos regulatorios para responder a las tres etapas de la tecnología, captura, transporte pero particularmente almacenamiento.
- d) Falta de programas de promoción y políticas de financiamiento para la adopción de la tecnología de CCS.
- e) Escasa respuesta a los altos costos de la tecnología.
- f) Falta de un plan que responda a los juicios que afectan la aceptabilidad social de esta tecnología y a los riesgos reales de la misma.

En particular, asociado a la aplicación de la tecnología existen posibles riesgos para la salud, seguridad y el medio ambiente que deben ser considerados. En la fase de captación, se identifican como potenciales impactos ambientales el incremento de la cantidad de combustible requerido para la operación de las plantas, lo cual da lugar a un aumento de emisiones por energía consumida, tales como SO<sub>x</sub> y NO<sub>x</sub>. La vigilancia y los riesgos de los sistemas de captación de CO<sub>2</sub> no parecen presentar retos esencialmente nuevos, ya que todos son elementos presentes en las prácticas normales de control sanitario, ambiental y de seguridad en la industria.

En cuanto a los impactos ambientales asociados a la alternativa de almacenamiento de carbonatación mineral, se estima que éstos son similares a los causados por las minas a cielo abierto a gran escala. Estos comprenden el desmonte, una menor calidad del aire local y los efectos sobre el agua y la vegetación como resultado de la perforación, las excavaciones y la clasificación y lixiviación de metales de los residuos mineros, los cuales también pueden dar lugar indirectamente a la degradación del hábitat. La mayor parte de los productos de la carbonatación mineral deben ser eliminados, lo cual requiere vertederos controlados para los residuos y requerimientos adicionales de transporte (IPCC, 2005).

La carbonatación mineral produce sílice y carbonatos que se mantienen estables durante largos períodos de tiempo y que, por tanto, pueden eliminarse en zonas como las minas de silicato o pueden reutilizarse con fines de construcción, si bien es probable que esa reutilización sea mínima en relación con las cantidades producidas. Tras la carbonatación, el CO<sub>2</sub> no sería liberado en la atmósfera. Como consecuencia, apenas sería necesario vigilar los lugares de eliminación y los riesgos relacionados serían casi insignificantes (IPCC, 2005).

Entre los actores de la industria y policy makers, entrevistados en un estudio reciente en Chile, existe un alto nivel de desconocimiento acerca de la tecnología. Para la mayoría es una alternativa de la cual han oído hablar, respecto de la cual tienen el juicio que es excesivamente costosa y en etapa muy inicial de desarrollo y de la cual desconocen mayores antecedentes técnicos. Además, pensando en la aplicación de esta tecnología en Chile, ella no se visualiza hoy en día como una potencial medida de mitigación en el horizonte al 2030 pero podría ser factible a posteriori.

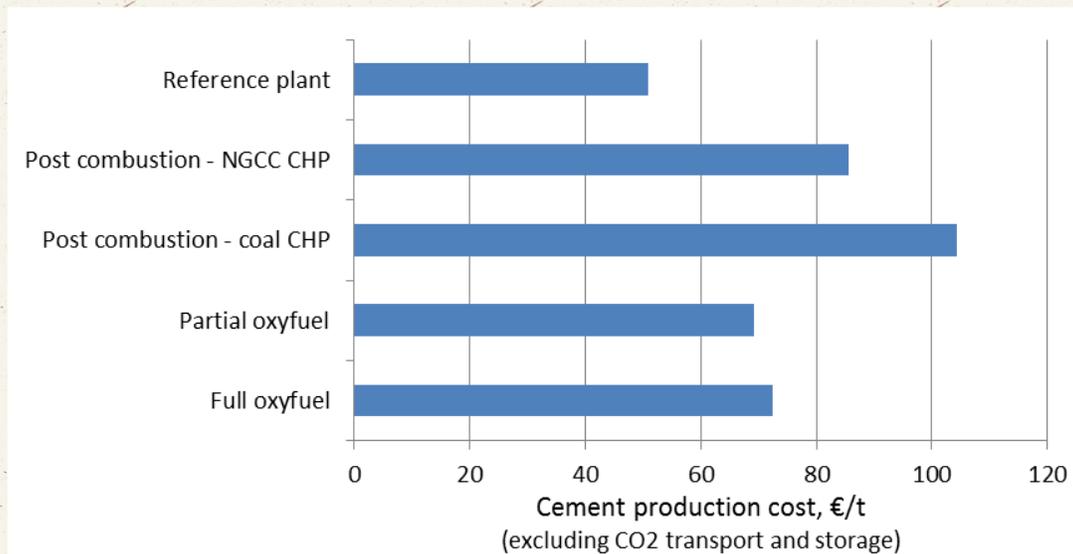
Por otro lado, se visualizan riesgos con el transporte y el almacenamiento que harían inviable la opción del almacenamiento subterráneo. En efecto, entre las principales reticencias que señalan las personas entrevistadas para este estudio están las condiciones sísmicas de Chile y su potencial riesgo para garantizar seguridad en el almacenamiento de CO<sub>2</sub>, los costos de la aplicación de esta tecnología, sumado a la falta de incentivos a nivel local para asignar un valor comercial al CO<sub>2</sub> y la poca orientación que existe en la política ambiental en Chile hacia disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub>, puesto que las prioridades parecieran estar más enfocadas en el control de las emisiones locales y residuos.

Otra de las barreras detectadas tiene que ver con el bajo desarrollo internacional de la tecnología. Como se apreció en las tendencias internacionales revisadas, actualmente existen muy pocos proyectos comerciales, siendo la mayoría iniciativas a nivel piloto o de pequeña escala.

También existe un riesgo en el aumento de costos por la captura con el consiguiente impacto de la competitividad en la industria del cemento. En las siguientes figuras se aprecia la estimación de los costos de producción del cemento y del CO<sub>2</sub> evitado considerando la captura del gas.

En el caso del "full oxyfuel" parcial, el costo de producción aumenta alrededor de 15 €/t de CO<sub>2</sub> y en el caso del post combustión, aumenta entre 35 (con cogeneración de carbón) y 50 €/t de CO<sub>2</sub> (con NGCC CHP).

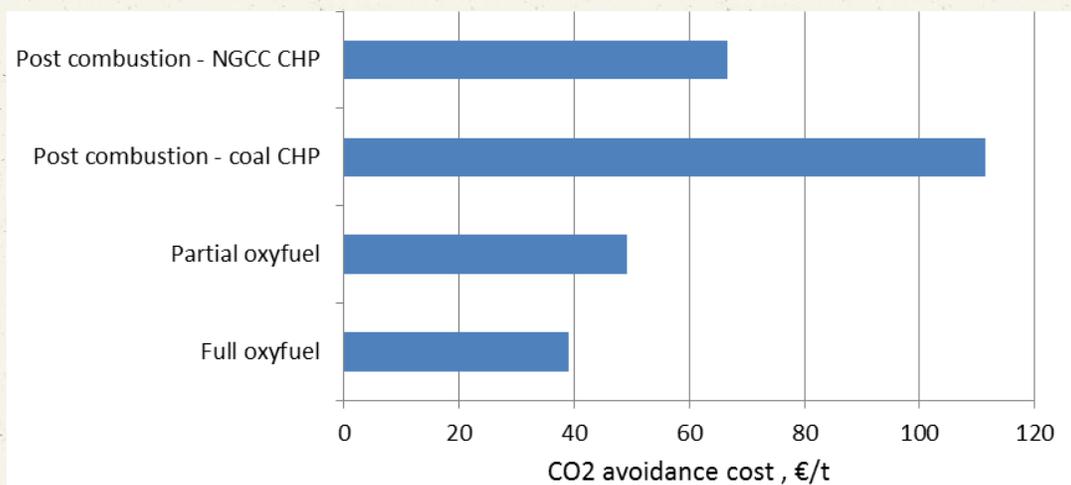
Si se considera el almacenamiento con un costo de €20/t CO<sub>2</sub> el costo del cemento aumenta en €10/t para el caso del "full oxyfuel".



**Figura 4 Costo de producción del cemento**  
**Fuente: (Davison, 2014)**

Notas: Se excluye el transporte y almacenamiento de CO<sub>2</sub> y supone una planta de cemento de 1,36 Mt/año (1 Mt/año de clinker) en Europa; tasa de descuento del 8%, horizonte de 25 años, factor de capacidad del 80%. Precios de combustibles: 3 €/GJ de Carbón, 6 €/GJ de Gas, 80 €/MWh de electricidad.

En el caso del costo del CO<sub>2</sub> evitado, la opción más barata es la "full oxyfuel", justo por debajo de 40 €/t CO<sub>2</sub>; luego oxifuel parcial con alrededor de 50 €/t, postcombustión con NGCC CHP y alrededor de 65 €/t, y del orden de 112 €/t para postcombustión con plantas de cogeneración de carbón.



**Figura 5 Costo de del CO2 evitado**  
**Fuente: (Davison, 2014)**

Notas: Costos directos, excluyen el transporte y almacenamiento de CO<sub>2</sub> y supone una planta de cemento de 1,36 Mt/año (1 Mt/año de clinker) en Europa; tasa de descuento del 8%, horizonte de 25 años, factor de capacidad del 80%. Precios de combustibles: 3 €/GJ de Carbón, 6 €/GJ de Gas, 80 €/MWh de electricidad.

Por otra parte en China y el Medio Oriente el costo evitado es un 50% más bajo (Davison, 2014).

Otro riesgo que se menciona entre los expertos y la literatura (CEPAL, 2015) es la fuga de carbono que se produce debido a las importaciones de países con mayor intensidad de emisiones. En particular, en Chile se importa actualmente un 22% del cemento (desde Tailandia, principalmente), siendo que hace dos años esta cifra no eran de más de un 2%, lo que trae asociado todo el CO<sub>2</sub> emitido en el extranjero para su fabricación.

Por último, como ya se mencionó anteriormente existen una serie de riesgos, problemas y percepciones relacionadas con la tecnología que reducen su aceptación social (en particular con almacenamiento). Es necesario enfrentar adecuadamente este tipo de barreras para intentar implementar opciones factibles para el desarrollo de los proyectos de captura de CO<sub>2</sub> (y eventualmente almacenamiento) además de explicar adecuadamente la diferencia entre los proyectos que incluyen o no las tres etapas del CCS, dados los menores cuestionamientos que tienen los proyectos con captura y fijación de carbono.

El impulso inicial que recibió el desarrollo de proyectos de demostración de CCS (en general) a partir de comienzos del año 2000 ha debido enfrentar desafíos principalmente económicos. Los países desarrollados que iniciaron este proceso han enfrentado restricciones presupuestarias importantes a partir de la crisis del año 2008, afectando los presupuestos disponibles para este tipo de proyectos. Al mismo tiempo, la evolución del mercado de carbono ha sido diferente a lo inicialmente proyectado y hoy los precios de la tonelada de CO<sub>2</sub> abatido se encuentran muy por debajo de los montos necesarios para convertir los proyectos de CCS en proyectos autosustentables en términos económicos.

De esta manera, la continuidad del proceso de maduración de esta tecnología depende fuertemente de la evolución de los acuerdos internacionales respecto de las medidas para enfrentar el cambio climático, que obliguen a los emisores a internalizar los costos asociados a la generación de CO<sub>2</sub> y en consecuencia, a la evolución del mercado del carbono. En este punto, las definiciones que se tomen a nivel político tanto en la arena internacional como nacional serán estratégicas para visualizar el desarrollo de la tecnología y su potencial aplicación al sector eléctrico.

Por otro lado, si se consideran los costos de implementación de la tecnología, lamentablemente, dada la reciente crisis financiera en Europa, la que no se ha visto reflejada en ninguno de los documentos de referencia que se han logrado recopilar, es difícil avizorar los costos futuros y el horizonte de tiempo en que los proyectos se implementarán de manera comercial.

## **2.4 Ventajas y oportunidades**

En lo que respecta a la fijación/uso del CO<sub>2</sub>, se han identificado una serie de usos alternativos en distintas industrias y procesos, pero los volúmenes requeridos son bajos, comparados con las emisiones actuales y esperadas de las industrias del país. En particular, la carbonatación mineral y reutilización en otros procesos del CO<sub>2</sub>, de acuerdo al análisis de los proyectos que se desarrollan comercialmente en la actualidad, generan ganancias al vender o utilizar estos insumos, además de entregar externalidades positivas adicionales.

Se vislumbra un creciente mercado relacionado con el CO<sub>2</sub>, que aunque por el momento es incipiente para algunos usos (biocombustibles, extintores, entre otros), podrían aumentar considerablemente en la medida que se disponga del gas transportado a bajo precio, promoviendo el desarrollo de clústeres relacionados en las cercanías de las futuras "redes de CO<sub>2</sub>". Ello va de la mano con las exigencias internacionales sectoriales que la industria pretende implementar a nivel mundial y la evolución de los compromisos de cambio climático a nivel global y nacional. En este sentido, el secuestro de carbono en el cemento (como plástico y otros productos útiles) es una oportunidad interesante aunque mucho más pequeña que los potenciales de almacenamiento geológicos.

La visión de clústeres relacionados a los usos y destinos del CO<sub>2</sub> es muy importante para lograr reducir costos y definir decisiones de industrias relacionadas (usuarios y emisores de CO<sub>2</sub>), dadas las economías de escala que ello puede significar (en particular para el transporte como el almacenamiento). Según la visión que se tiene en la plataforma Europea Zero Emissions (Zero Emissions Platform -ZEP, 2012), pensar las futuras industrias relacionadas al CO<sub>2</sub>, tanto los potenciales usuarios del gas (biocombustibles, biolixiviación, usuarios industriales, etc.), como los

emisores del mismo (plantas de generación eléctrica e industriales), permitiría lograr importantes sinergias y reducciones de costos en transporte y almacenamiento y de abastecimiento del CO<sub>2</sub> para los usos definidos. En este sentido, un gasoducto (o una red) que se defina de acuerdo a los potenciales sitios para el almacenamiento, podría ser el eje aglutinador de empresas emisoras/usuarioas de CO<sub>2</sub>, las que podrían finalmente convertirse en un clúster en torno a este fenómeno. Ello incluso se puede pensar con países vecinos, aprovechando los gasoductos existentes en la actualidad o construyendo nuevos, de manera de transportar y usar/almacenar de la manera más eficiente.

En cuanto a las condiciones de madurez en cada una de las fases de la tecnología de CCS, es posible identificar distintos niveles de desarrollo y desafíos por delante. Para la fase de captura, la tecnología aplicada cuenta con el respaldo del uso de procesos similares en otros sectores industriales, pero plantea el desafío pendiente de disminuir la intensidad energética de los procesos, de tal manera de hacerlos más competitivos en términos comerciales. Por su parte, la fase de transporte parece ser la más madura en términos tecnológicos y respecto de la cual existe una mayor experiencia a nivel global lo que entrega garantías importantes respecto a las condiciones técnicas de su operación.

La aplicación de la tecnología CCS exige a la vez la adaptación de regulaciones y el desarrollo de mecanismos de financiamiento para la puesta en marcha de proyectos de demostración y la posterior inversión y desarrollo de infraestructura para su operación. De acuerdo a la experiencia internacional, algunos países que están desarrollando proyectos de demostración como Inglaterra, EE.UU, España, Alemania, Australia y Japón se encuentran realizando esfuerzos para adaptar sus legislaciones.

En el caso de considerar el transporte y almacenamiento, en muchos de estos países se ha descansado en esta etapa de transición en normativas vigentes para la industria del gas en temas relacionados con el transporte y se han iniciado tentativas de regular el almacenamiento, principalmente en cuanto a la tenencia responsable y la asignación de responsabilidades en el monitoreo y custodia de los emplazamientos entre el Estado y las empresas involucradas. En este tema aún queda mucho por avanzar, pero este camino no puede desarrollarse de manera unilateral, por lo que debe considerarse lo que paralelamente se puede ir aprendiendo de la operación de los proyectos pilotos que están en ejecución y que aún requieren tiempo de maduración.

Por su parte, en cuanto al financiamiento, la experiencia internacional da cuenta de un amplio nivel de respaldo de los gobiernos nacionales (y la Unión Europea) en la generación de recursos para el desarrollo de proyectos de CCS. Los países desarrollados ven esta tecnología como una alternativa concreta a la descarbonización de sus economías. Sin embargo es importante destacar que el aporte financiero de los estados a este tipo de proyectos se ha visto fuertemente afectado por los efectos de la crisis económica del 2008 y la caída en los precios del carbono, lo que ha significado la postergación de proyectos o su total eliminación, así como retraso en los resultados esperados.

Para el caso de Chile, es importante entender el rol que pudiese jugar la aplicación de una tecnología como esta en la descarbonización de la industria y cómo compite esta medida de mitigación con otras alternativas, puesto que esta definición permitirá asignarle un costo relativo a la aplicación de la tecnología de CCS respecto de otras opciones.

Respecto a los incentivos que existan para promover la tecnología, en cuanto a acuerdos de cambio climático a nivel global (como el precio de los bonos de carbono), existe una oportunidad en este momento, frente a la situación de incertidumbre en las negociaciones internacionales acerca del cambio climático y la extensión del protocolo de Kioto al 2020, que han puesto en entredicho las condiciones en que se desenvolverá el mercado del carbono en los próximos años, el que presenta precios a la baja. Este escenario es muy poco propicio para el fomento de tecnologías de mitigación de GEI y en particular de aquellas más costosas, independiente de lo costo-efectivas que puedan ser. La reciente presentación del compromiso de reducción de Chile a través de su INDC y la negociación que se llevará a cabo a fin de año en la COP 21 en París, abre una oportunidad para que se internalicen más adecuadamente los costos de las externalidades climáticas en los sectores productivos y se releven nuevas iniciativas para mitigación de GEI en el país.

Otra oportunidad interesante es el financiamiento al que se podría acceder para la investigación en este tema, ya que existen diversos fondos en Chile que podrían potenciar la tecnología, cuyos montos de financiamiento oscilan entre USD\$ 0,32 y USD\$ 1,6 millones de dólares. En la mayoría de los casos, son aportes estatales no reembolsables y constituyen desde un 25% a un 85% del total del costo de los proyectos. Entre ellos destacan:

- Programa de innovación Empresarial de Alta Tecnología
- Concurso Proyecto de I+D Aplicada
- Prototipo de innovación empresarial
- Programa de “Atracción de Centros de Excelencia Internacional en I+D”
- Programa “Consortios Tecnológicos para la Innovación”

En el caso de los Consortios Tecnológicos, el año 2010 CORFO invirtió US\$31,6 millones en tres proyectos para investigación de biocombustibles de 2ª generación en base a algas, los que usaban CO<sub>2</sub> como uno de sus insumos principales. Hasta ahora, estas iniciativas se mantienen a nivel de pilotos.

Por último, cabe destacar las cooperaciones en el extranjero, en particular los “Programa Marco”, principal instrumento de la UE para financiar actividades de investigación y desarrollo. En este programa, la energía ha sido un tema muy relevante para distintos ámbitos, como ERNC y eficiencia energética.

## **2.5 Secuencialidad**

Según Cement Sustainability Initiative (CSI), IEA, entre otras referencias, se espera que las tecnologías estén comercialmente disponibles a partir del año 2020 (o a más tardar al 2030) para subsectores industriales de alta intensidad de emisiones, por lo que junto con las expectativas de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> al 2050 en la industria (56% de la mitigación total proyectada), sería posible esperar que a partir del 2030 pudiesen implementarse proyectos comercialmente factibles en el país, que permitan reducir emisiones de GEI en la industria y hacer del CO<sub>2</sub> un insumo para distintas industrias relacionadas.

En este sentido, es importante hacer notar que Cementos Biobío lo tiene como un proyecto en evaluación preliminar dentro de su cartera de medidas de mitigación, lo que es de esperar sea imitado por otras empresas del sector.

### 3. Eficiencia energética en nuevos proyectos mineros y metas de eficiencia energética para sectores industriales y proyectos mineros existentes

El sector Industria y Minería, de acuerdo al Balance Nacional de Energía (2013), equivale al 36,7% del consumo final de energía a nivel nacional y un 20% de las emisiones directas de GEI. De acuerdo a los resultados de la Fase 2 del proyecto MAPS Chile, se espera que estas proporciones se mantengan dentro de estos órdenes de magnitud al año 2030.

La industria minera, en particular del cobre, es uno de los sectores con más alto consumo energético y con un aporte significativo en las emisiones de GEI, tantos directas como indirectas. A futuro, como se presentó en la Fase 2 del proyecto MAPS Chile, estos indicadores no mejoran su desempeño, debido principalmente a la reducción de las leyes y endurecimiento del mineral y a la profundización de los yacimientos, con los consiguientes aumentos de las distancias para el transporte del mismo, entre otras razones.

En las figuras siguientes se pueden observar las proyecciones de consumo energético y emisiones de GEI del sector Industria y Minería (desagregado en sus subsectores principales). En el caso del consumo energético, este más que se duplica en el periodo 2013 – 2050. Por otra parte, en el caso de las emisiones de GEI, ellas aumentan 1,5 veces en el mismo periodo.

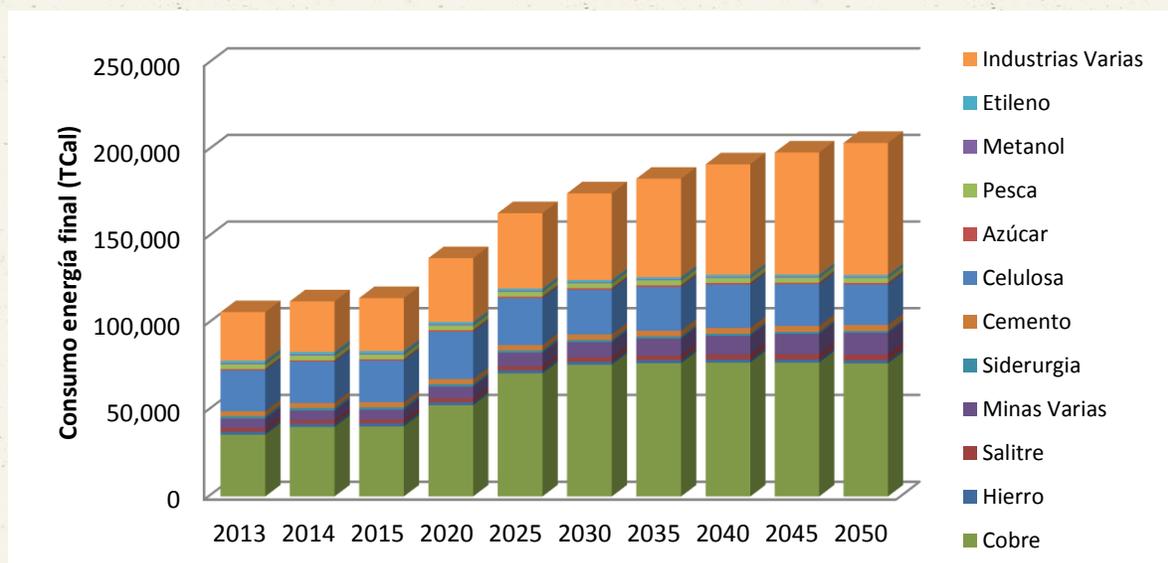
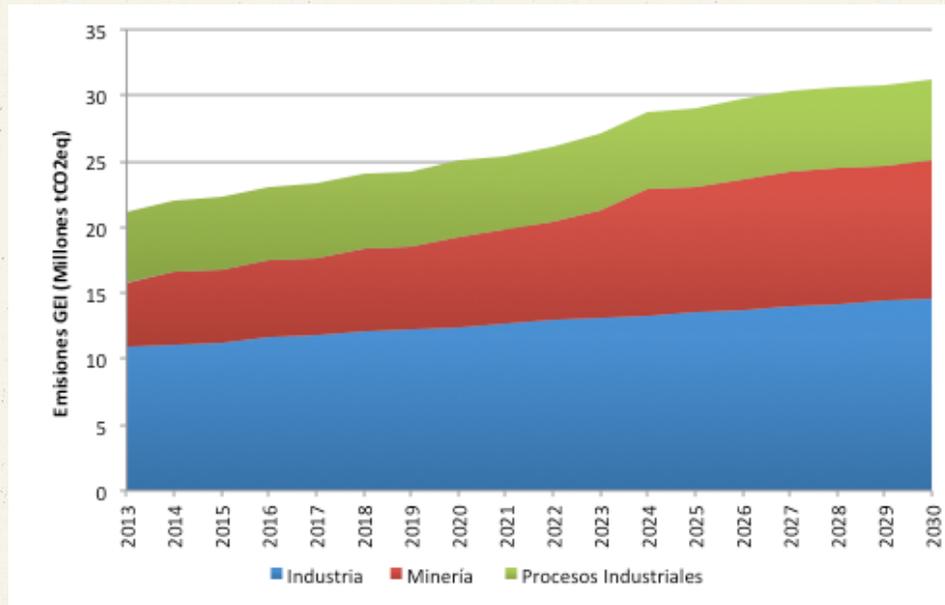
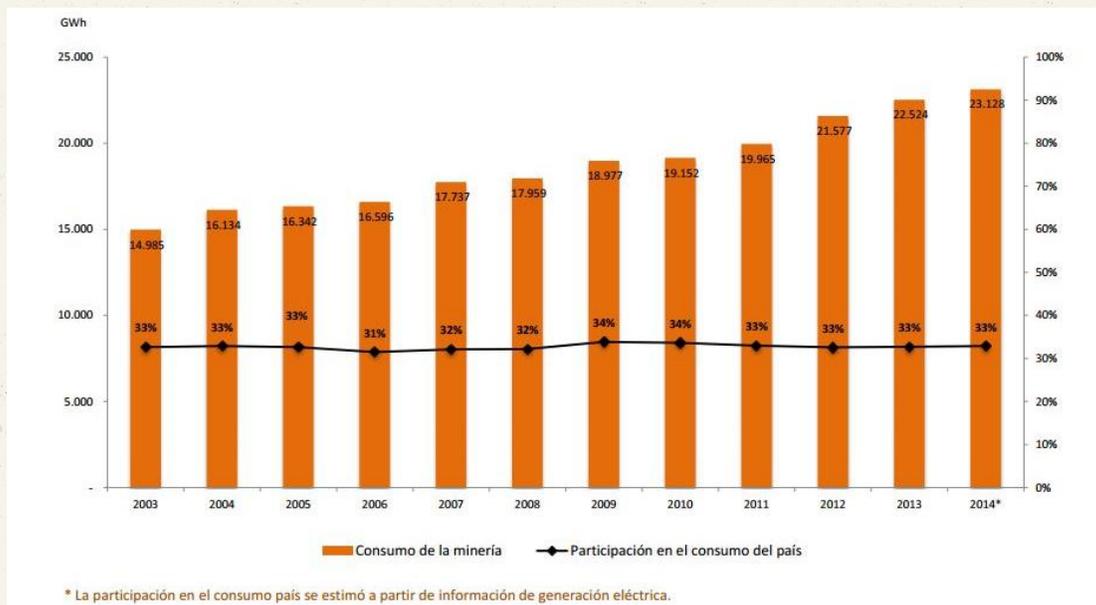


Figura 6 Consumo de Energía Final proyectado sectores Industria y Minería  
Fuente: Proyecto MAPS Chile



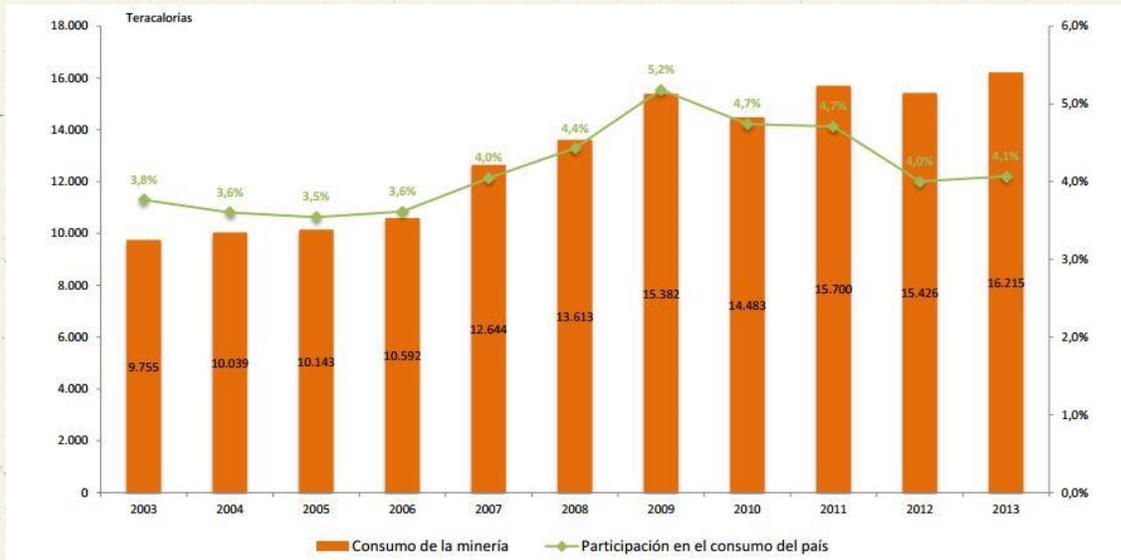
**Figura 7 Emisiones de GEI proyectadas sector Industria y Minería**  
**Fuente: Proyecto MAPS Chile**

En el caso de la minería del cobre, como se aprecia en las siguientes figuras, el consumo histórico de energía ha aumentado consistentemente en la última década, en particular en el consumo de energía eléctrica.



**Figura 8 Consumo de energía eléctrica en la minería del cobre y participación en el consumo país 2003 - 2014**

**Fuente: Consejo Minero**



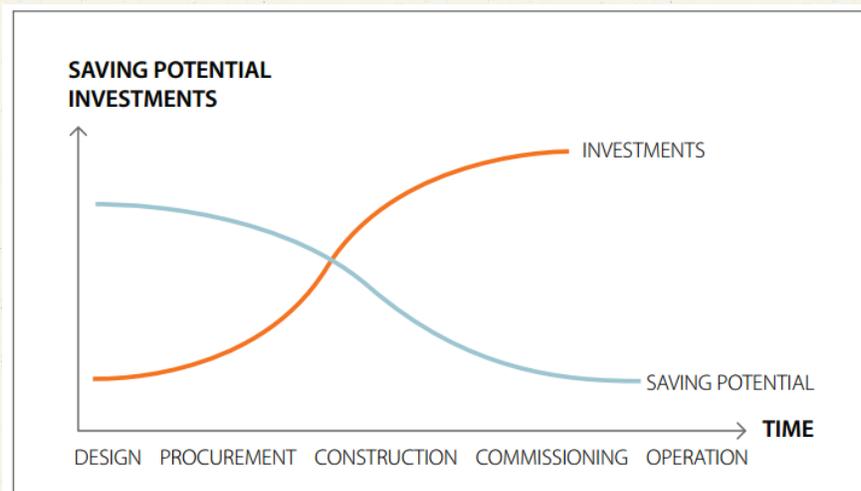
**Figura 9 Consumo de combustibles en la minería del cobre y participación en el consumo de combustibles del país 2003 - 2013**  
**Fuente: Consejo Minero**

De acuerdo a lo anterior, la implementación de políticas de eficiencia energética, como las metas para la industria o los estándares para nuevos procesos, son medidas muy importantes para reducir los consumos energéticos del sector y por consiguiente, las emisiones de GEI directas e indirectas del mismo.

### 3.1 Descripción

Como se mencionó previamente, la medida consiste en mejorar el desempeño energético de las industrias a través de la definición de altos estándares de eficiencia energética en los nuevos proyectos, junto con la implementación de metas de eficiencia energética para las industrias y proyectos existentes.

En el caso de los nuevos proyectos mineros, ello se justifica dado que, de acuerdo a la información histórica respecto de empresas que operan con políticas de eficiencia energética, se puede apreciar (ver figura siguiente) que los ahorros potenciales asociados a los consumos energéticos ineficientes pueden capturarse de mejor manera en etapas más tempranas en la creación de un proyecto. Por otro lado, mientras más tiempo avanza, es mucho menor el ahorro potencial a obtener, además de aumentar los costos en inversión (Ministerio de Recursos Naturales de Canadá, 2013).



**Figura 11 Ahorros potenciales obtenidos a partir de cada etapa en el ciclo de vida de un proyecto**  
**Fuente: (SEAI -Sustainable Energy Authority of Ireland, 2008)**

La definición de metas de eficiencia energética en general está asociada a la promulgación e implementación de una ley de eficiencia energética, las que poseen diversas connotaciones y alcances en los distintos países que han sido revisados. El documento (BID e IEA, 2012) distingue entre leyes de eficiencia energética “suaves” y “firmes”. La primera se refiere a aquellas que establecen principios e intenciones y las segundas a aquellas que sientan las bases legales, institucionales y financieras necesarias para ponerlas en práctica.

Por otra parte, la Agenda de Energía presentada por el Ministro de Energía el año 2014 plantea una meta de reducción de consumo energético del país de un 20% al año 2025. Si se considera la línea base de consumo energético estimada en el contexto del proyecto MAPS Chile, la meta propuesta se traduce en más de 75.000 TCal en consumo de energía evitado al año 2025. Esta es una meta exigente, pero no inalcanzable, que requerirá de importantes esfuerzos, presupuestarios y en recursos humanos. La sola implementación del Plan de Acción de Eficiencia Energética, acorde a su diseño original permitiría alcanzar una parte importante pero no el total de la meta planteada, por lo que la aplicación de una ley de eficiencia energética de carácter firme es un elemento clave para dar la base a otros programas y cumplir el objetivo presentado en la Agenda de Energía. Por esta razón, debiera incluir exigencias explícitas para los distintos actores y las penalidades correspondientes en caso de no cumplimiento, identificar qué subsidios e incentivos se establecerán en el caso de actores que no puedan financiar las medidas requeridas, además de establecer claramente cómo y quién realizará las fiscalizaciones y el monitoreo.

Tanto las metas de eficiencia energética, como los incentivos para que nuevos proyectos mineros consideren estándares de eficiencia energética desde la etapa de diseño, también influyen en la minimización de otro tipo de impactos como el uso del agua, disposición de relaves, emisiones de contaminantes locales, etc.

### 3.1.1 Tendencias internacionales relevantes

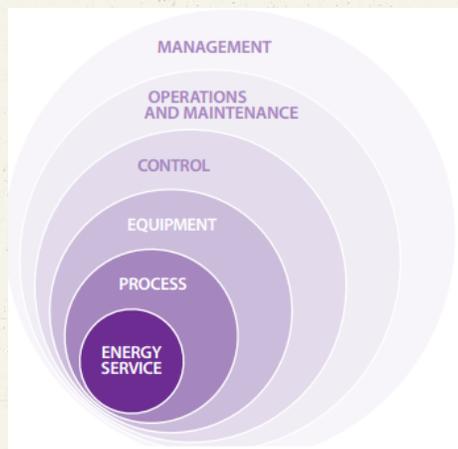
Se destaca en primer lugar, la política de eficiencia energética desarrollada por la agencia de eficiencia energética de Irlanda, que desde el año 2002 creó la Autoridad de Energía Sustentable de Irlanda (SEAI por sus siglas en inglés), la cual está encargada de promover un uso de la energía de manera sustentable, reducir el impacto ambiental asociado a la producción energética, avanzar en el desarrollo del uso de los recursos renovables para usos energéticos (SEAI -Sustainable Energy Authority of Ireland, 2008).

SEAI, ha desarrollado una metodología de diseño de eficiencia energética, la cual utiliza como insumos: grupos especiales de trabajo formado por expertos e involucrados en una determinada industria, la visión del equipo de inversionistas y finalmente el equipo de diseño e ingeniería del proyecto.

Además de utilizar dichos insumos, posee una metodología especializada, la cual cuenta con tres fases relevantes. La primera corresponde a realizar un balance de eficiencia energética, luego analizar los retos dentro del proyecto que permita mejorar el desempeño del mismo y finalmente la tercera etapa de implementación de las planificaciones de las etapas anteriores (SEAI - Sustainable Energy Authority of Ireland, 2008).

Además, la metodología se vale de otros tres recursos los cuales mejoran todavía más la, manera en cómo se concibe un proyecto desde su etapa de diseño:

1) Diagrama de Venn de Energía: es una visualización que permite identificar los factores que más contribuyen al uso de la energía en cualquier sistema. Es una herramienta muy útil en la fase 2 de la metodología de diseño energético eficiente. Generalmente el más importante en cuanto al uso del recurso es el servicio de energía, el cual, condiciona a los demás actores respecto de la disponibilidad del recurso.



**Figura 12 Diagrama de Venn que muestra los consumos energéticos por capa**  
Fuente: (SEAI -Sustainable Energy Authority of Ireland, 2008)

2) Diseño de la Administración de energía: el objetivo de utilizar este recurso es generar un plan de medición energético que permita conocer el uso de la energía que se utiliza en las operaciones del proyecto. El segundo componente corresponde a solucionar los problemas operacionales que aparecen cuando se pone en marcha un proyecto y que son elementos no planificados dentro de

las primeras etapas de diseño. El tercer componente consiste en analizar y revisar los factores de energía involucrados en el proceso de operación de un proyecto, bajo diferentes tipos de condiciones para reconocer los más importantes que impactan dentro del uso eficiente de la misma.

3) Realizar un esquema del diseño de eficiencia energética el cual permita la planificación de las actividades y organice los componentes de eficiencia. El objetivo principal de ésta metodología es crear un plan de acciones coordinadas que se comiencen a aplicar a medida que avanza el proyecto, desde sus etapas iniciales de concepción y diseño, hasta las finales de operación y mantenimiento del mismo. Se desea crear un esquema tipo carta Gantt la cual sea capaz de coordinar las acciones a lo largo del tiempo y así se puedan monitorear retrasos o adelantos del mismo proceso de uso eficiente de las energías.

En segundo lugar la Iniciativa Green Mining (GMI) de Canadá reúne a diversos actores interesados en desarrollar tecnologías verdes, procesos y conocimientos para la minería sustentable. La iniciativa apunta al desarrollo de tecnologías innovadoras de eficiencia energética en la explotación minera, mejoramiento de estándares y procesos, captación, uso y descarga de aguas, y mejores prácticas de gestión ambiental (Ministerio de Recursos Naturales de Canadá, 2013).

Se establece una estricta normativa para el uso de motores en la industria especificando aquellos permitidos, además de restricciones del contenido de azufre del diésel utilizado para su operación. Además, dado que la densidad del aire varía con la altura de la faena, disminuyendo la eficiencia de la mezcla de aire y combustible, se establece una configuración de uso para las tasas de inyección de los combustibles de acuerdo a la altura de la operación.

GMI desarrolla I+D para el procesamiento de los minerales y metales de acuerdo al contenido y las características específicas de la tierra y rocas de cada faena, buscando una caracterización analítica y mineralógica extensiva de minerales para diseñar la separación física y química ecológicamente racional o técnicas de enriquecimiento (Ministerio de Recursos Naturales de Canadá, 2013).

Respecto del recurso hídrico se establecen 5 lineamientos principales (Ministerio de Recursos Naturales de Canadá, 2013):

- Protección del medio receptor y las comunidades locales investigando los posibles impactos de la minería sobre el medio ambiente local, incluidos los efectos de las descargas de efluentes, deposición atmosférica y la contaminación histórica.
- Limpieza de efluentes y mayor cumplimiento de descarga, ejerciendo presión para la mejora de procesos de tratamiento a través de controles ambientales más estrictos sobre los efluentes vertidos.
- Reducción del consumo de agua dulce a través a tratamiento y reutilización de aguas contaminadas y optimización de procesos.
- Desarrollo de tecnologías de tratamiento de aguas residuales con tecnologías prometedoras como membranas, nano-tecnología de intercambio iónico y tratamientos químicos y biológicos.
- Asegurar que las decisiones regulatorias se basen en conocimientos científicos sólidos.

En materia de eficiencia energética GMI se encarga de 3 temas principales:

- Eficiencia en calefacción, ventilación y aire acondicionado de minas subterráneas. La entrega de la cantidad correcta de aire y temperatura, sólo cuando y donde sea necesario en tiempo real puede reducir drásticamente los requerimientos de energía o permitir una mayor producción. El desarrollo de controles proactivos y tecnologías de vigilancia de los parámetros del aire favorecen la eficiencia.
- La hoja de ruta para vehículos en minería sustentable que busca ofrecer las soluciones tecnológicas, financieras y reglamentarias necesarias en la industria para tomar decisiones sobre la adopción de tecnologías diésel más limpias y ventajosas, y otras opciones de combustibles alternativos para sus operaciones de transporte.
- Eficiencia energética en la fragmentación de la roca, el objetivo del proyecto es desarrollar, evaluar y poner a prueba una herramienta integrada para seguir y controlar la dureza y la distribución del tamaño del mineral que alimenta los procesos de molienda y así ajustar en consecuencia la preparación de mineral (voladuras, trituración y mezcla) y los parámetros de funcionamiento del molino (rendimiento y el porcentaje de sólidos) para el ahorro de energía y el aumento de la productividad del proceso.

En cuanto a las mejoras de gestión ambiental los proyectos pueden abarcar una infinidad de etapas del proceso minero, aunque el desarrollo de las actividades se centran principalmente en cuestiones ambientales relacionadas con relaves y roca estéril y además de la investigación de laboratorio y de campo, también incluye la revisión de las evaluaciones ambientales y la transferencia de conocimientos y tecnologías de Canadá a nivel internacional (Ministerio de Recursos Naturales de Canadá, 2013).

Otra experiencia importante en desarrollo es el Programa de Investigación en Green Mining de Finlandia, fundado por el Ministerio de Economía y Trabajo en conjunto con la Agencia finlandesa de financiación de tecnología e innovación (Tekes) (Sandström, Uusisuo, & Keskinen, 2013).

Resumidamente el concepto finlandés busca (Sandström, Uusisuo, & Keskinen, 2013):

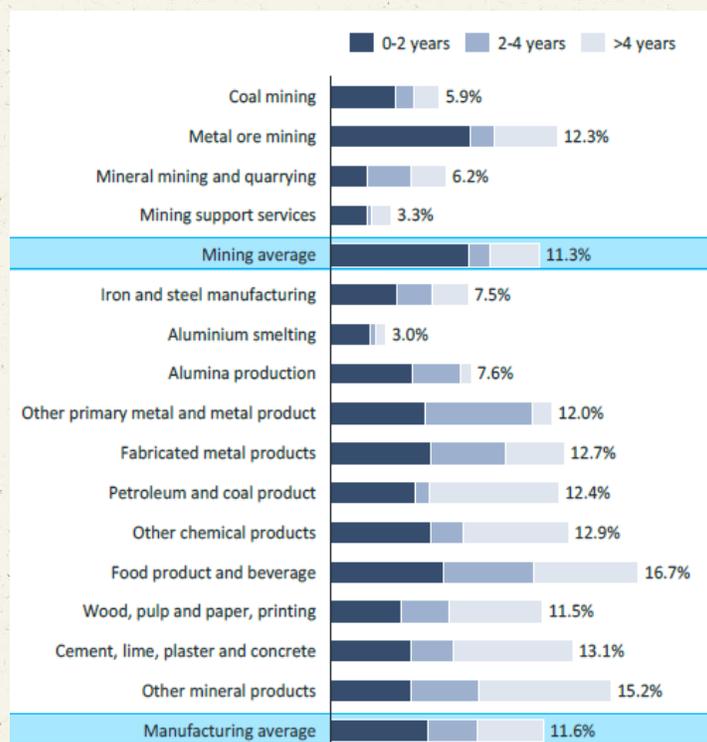
- Eficiencia energética en el uso de materiales e insumos
- Asegurar la disponibilidad del mineral para necesidades futuras
- Minimizar los impactos ambientales y sociales adversos
- Mejoramiento del trabajo y prácticas organizacionales
- Uso sustentable del territorio tras el cierre de las minas

Por último, se revisa el análisis de eficiencia energética del sector industrial y minero en Australia. Como se aprecia en la figura siguiente, Australia proyecta ahorros entre 3 - 21 % para la industria e identifica un potencial de ahorro de 10% para la minería, principalmente (metálica y del carbón)<sup>11</sup>. Se espera que menos de la mitad de este potencial se aproveche, lo que incluye principalmente aquellas medidas con payback menor a 2 años. Las principales medidas de reducción corresponden a oportunidades en movimiento y transporte de materiales (excavadoras, camiones, etc.), sistemas de bombeo, chancado y molienda.

---

<sup>11</sup> En general Australia es mencionada como un país de referencia en producción minera, ello es relativo, dada la diferencia de estructura productiva y del mercado energético que posee con Chile.

De acuerdo a (ClimateWorks Australia, 2013) los proyectos de eficiencia energética identificados muchas veces no se implementan debido a los riesgos operacionales, los ciclos de decisión (que por ejemplo, tienen que ver con el reemplazo de equipos) y el período de retorno.



**Figura 12 Ahorros de energía por subsector y periodo de retorno en Australia (2010-11)**  
**Fuente: ClimateWorks Australia, 2013**

### 3.2 Barreras identificadas

Existen importantes barreras relacionadas con la implementación de medidas de eficiencia energética en la industria y minería en Chile. Una de estas principales falencias es que no existe información confiable y disponible para cuantificar los esfuerzos desarrollados por las empresas en materia de eficiencia energética, además de no poder contar con análisis formales de estimación de potencial de aprovechamiento energético, sino que más bien, sólo iniciativas aisladas y estudios de gabinete.

Luego, es indispensable mejorar los sistemas de reporte y verificación de las industrias (principalmente las energo intensivas) para dar a conocer esta información y definir en el mediano plazo los mejores indicadores y metas para el sector. En este sentido, la implementación de auditorías energéticas y sistemas de gestión de la energía son fundamentales para identificar las oportunidades de mejoramiento en la gestión energética y la implementación de mejoras en los procesos productivos. Es importante hacer notar que la realización de mediciones y establecimiento de líneas base se puede transformar en un costo importante para aquellas empresas que implementen dichas medidas.

También existe una brecha importante en lo que respecta a la comunicación entre el Gobierno y la Industria. De esta forma, se releva la necesidad de mejorar la comunicación entre el gobierno y la industria en lo que respecta a la evolución del marco regulatorio y el diseño de futuras legislaciones. Se considera que cuando se trata de la aplicación de tecnologías innovadoras, los criterios utilizados por el gobierno para evaluar las nuevas tecnologías son de carácter genérico y vago, por lo que es difícil para las empresas preparar todos los datos necesarios y garantizar que el proceso de aprobación no se desacelere como consecuencia de la escasez de datos. Esta falta de detalles sobre lo que se requiere por parte del gobierno para evaluar adecuadamente una tecnología o un proceso puede evitar que las empresas incluyan el uso de las tecnologías mineras verdes en sus operaciones (Ministerio de Recursos Naturales de Canadá, 2013).

El sistema regulatorio (y la estructura de contratos) es otro elemento que dificulta el fomento a la reducción de consumos en las empresas más grandes por lo que se requiere una mejora en este sentido. Por ejemplo, sistemas de contratos como el "take or pay" no incentivan a que las empresas ahorren energía, dado que deben cumplir con la compra de un valor fijo de energía definido previamente. Ellos tampoco promueven el uso de oportunidades energéticas o la cogeneración.

Otra barrera relevante a considerar es la escasez de capacitación de profesionales en el área y en particular en las nuevas tecnologías en estudio. Esta es una falencia transversal a nuestro sistema productivo, con un menor impacto en la minería, que tiene estándares de capacitación superiores al del resto de las industrias.

Todo lo anterior implica un freno al importante énfasis que se quiere dar en la definición de estándares de eficiencia energética en nuevos proyectos de inversión en minería e industrias energo intensivas. Las variables regulatorias, técnicas y económicas, junto con la diversidad de sectores productivos que deben ser abordados, entre otras barreras, puede significar que la definición de estos estándares no alcance la relevancia que tanto el regulador como las empresas esperan de la implementación de este instrumento.

### **3.3 Ventajas y oportunidades**

Una de las principales oportunidades surge de la reducción del impacto ambiental y en las comunidades locales frente a un sector que puede generar impactos sustantivos en su entorno. En esta misma línea la implementación de proyectos de esta índole genera importantes oportunidades de reducción de contaminación local, residuos y contaminantes globales.

Por otra parte el alto costo de los energéticos hace más atractivo el desarrollo de proyectos que mejoren la eficiencia de la industria, reduciendo los costos de operación y generando consecuentemente mejoras en la competitividad de los productos frente al mercado internacional.

De acuerdo a diversos estudios que se han realizado en las últimas décadas como a la opinión experta que han sido relevados en las discusiones en el contexto del proceso participativo para la discusión de la futura ley de eficiencia energética en Chile y el proyecto de definición de la hoja de ruta al 2050 de la política energética; existe consenso del importante potencial de eficiencia energética del sector industrial y minero. En el caso de la industria, los principales potenciales de reducción se encuentran en celulosa y cemento. En el caso de la minería, las oportunidades identificadas en diversos estudios se encuentran en pilas de lixiviación, molienda y fundición.

Por último, una importante oportunidad que se identifica es la firma del convenio de eficiencia energética entre el Consejo Minero y el Ministerio de Energía en el año 2014. En este acuerdo, la industria minera se comprometió a desarrollar auditorías energéticas independientes para identificar oportunidades de mejora en este aspecto. Ello puede ser el pilar para construir la base de información que requiere la industria para tomar decisiones correctas en materia energética en el sector e implementar de manera consistente e informada las mejores políticas para lograr, en el mediano plazo, un consumo eficiente y el aprovechamiento de oportunidades energéticas.

### **3.4 Secuencialidad**

Se espera contar con el anteproyecto de Ley de eficiencia energética a fines del año 2015, junto con los antecedentes de las auditorías energéticas desarrolladas por la industria minera. Ambos aspectos pueden ser el punto de partida para avanzar hacia un mejor aprovechamiento de la energía en distintos sectores productivos y avanzar hacia una cultura energética en la industria.

Los resultados de las auditorías energéticas del sector minero que se entregarán a fin de año permitirán tener una radiografía con mayor precisión de los consumos del sector, lo que podría servir como piedra angular para lograr metas de eficiencia energética al año 2025.

Es deseable pensar que es posible avanzar en la reducción de consumos e intensidades energéticas por sobre las exigencias que defina la futura ley de eficiencia energética, en particular en el sector minero y en las industrias con los mayores consumos.

Para el resto de la industria, de acuerdo a lo establecido en la discusión del proyecto Energía 2050, se espera que al 2020 se implementen auditorías de eficiencia energética y SGE en las empresas que poseen los mayores consumos energéticos. Ello permitirá seguir un camino similar al que se espera en el sector minero, que debiera tener un mayor avance en este periodo.

Al 2050 se espera que exista una avanzada cultura energética innovadora en la industria, apoyada por información sistematizada y una institucionalidad robusta que permita lograr avances permanentes en el consumo eficiente de energía en el sector industria y minería.

#### 4. Producción de ciclo cerrado y ecología industrial

Los conceptos de producción de ciclo cerrado y ecología Industrial son parte de la evolución de la discusión e implementación del desarrollo sustentable en la industria, lo que, de acuerdo a los últimos desarrollos de la discusión de Desarrollo Sustentable, se engloba dentro del concepto de Consumo y Producción Sustentable (CPS).

Esto fue tratado en la Conferencia (Rio+20) en el 2012, la que se centró en los temas de la economía verde en el contexto del desarrollo sostenible y la erradicación de la pobreza, y el marco institucional para el desarrollo sostenible (entre otros). Esta reunión ratifica y consolida los compromisos adoptados 20 años antes en la “Rio Earth Summit”, como se aprecia en el siguiente cuadro.

**Tabla 3 Proceso Internacional: aplicación de la sostenibilidad**

Río 1992	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La primera conferencia de la ONU para el Desarrollo Sostenible, “Rio Earth Summit”</li> <li>• “Agenda 21”: hacer frente a los impactos humanos al medio ambiente en el nivel local, nacional y global</li> <li>• Tratados clave sobre cambio climático, desertificación y biodiversidad</li> <li>• “Las causas principales de la degradación continuada del medio ambiente global son las formas de consumo y producción insostenible...”</li> </ul>
Johannesburgo 2002	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible</li> <li>• Los gobiernos reafirmaron su compromiso con la Agenda 21</li> <li>• “Erradicar la pobreza, cambiar las formas de producción y consumo insostenibles, y proteger y dirigir la base de recursos naturales hasta el desarrollo económico y social son objetivos generales de, y los requisitos esenciales para, el desarrollo sostenible.”</li> </ul>
Río + 20 2012	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La Conferencia de la ONU sobre el Desarrollo Sostenible, “Rio+20 Earth Summit”</li> <li>• Conceptos importantes: la economía verde en el contexto del desarrollo sostenible, la erradicación de la pobreza, y el marco institucional para el desarrollo sostenible</li> <li>• Adopción del Marco Decenal de Programas sobre el Consumo y Producción Sustentable (10YFP), siendo el de CPS el primer programa lanzado (de 5 iniciales)</li> </ul>

Fuente: (Borrero, 2014)

El resultado de la Conferencia de Río+20 fue un documento político específico, “El futuro que queremos”, preparado por los Jefes de Estado y de Gobierno y los representantes de alto nivel, que renueva el compromiso en pro del desarrollo sostenible y de la promoción de un futuro económico, social y ambientalmente sostenible para el planeta y para las generaciones presentes y futuras. El documento presenta un enfoque hacia el cambio fundamental de los sistemas de

producción y consumo, plantea la relación del consumo y la producción sostenibles con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y la adopción del Marco Decenal de Programas en Consumo y Producción Sostenible (10YFP).

Estos conceptos están actualmente siendo promovidos en Chile a través de Ministerio del Medio Ambiente (Ministerio del Medio Ambiente, 2015), mediante el Comité Consultivo de Consumo y Producción Sustentable, cuyo objetivo central es asesorar al Comité de Consumo y Producción Sustentable en el desarrollo del Programa Nacional de Consumo y Producción Sustentables y en el futuro Plan de Acción. El Comité Consultivo además deberá hacer efectiva la participación y el diálogo entre los distintos actores del sector privado y de la sociedad civil, cuyo marco de acción pertenezca al ámbito de consumo y producción sustentables.

En la figura siguiente se presenta la estrategia del Programa Nacional de Consumo y Producción Sustentable.



**Figura 10 Estrategia del Programa Nacional de Consumo y Producción Sustentable<sup>12</sup>**  
**Fuente: Ministerio de Medio Ambiente (2015)**

En el año 1994, el Ministerio de Medio Ambiente de Noruega, en el Simposio de Oslo desarrolló la definición operativa de CPS como “El uso de servicios y productos conexos que den respuesta a las necesidades básicas y aporten una mayor calidad de vida, reduciendo al mismo tiempo al mínimo el uso de recursos naturales y de materiales tóxicos así como las emisiones de desechos y de

<sup>12</sup> La línea de acción “Producción Limpia y PYMES” cambió de nombre y ahora se denomina “Empresas de Menor Tamaño Sustentables”.

sustancias contaminantes durante el ciclo de vida del servicio o producto con el fin de no poner en riesgo la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras” (CEADU, 2015).

En la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo celebrada en Río de Janeiro en 1992 se reconoció que el consumo y la producción sostenibles (CPS) representan un tema primordial, en el que se vinculan los desafíos ambientales y los retos en la esfera del desarrollo. El informe final de la conferencia, titulado Agenda 21, afirma que la principal causa del deterioro continuo del medio ambiente mundial son los patrones insostenibles de consumo y producción (PNUMA, 2010).

El CPS se centra en la gestión sostenible y eficiente de los recursos en todas las etapas de las cadenas de valor de los bienes y servicios. Promueve la creación de procesos que utilicen menos recursos y minimicen desechos, incluyendo sustancias peligrosas, al mismo tiempo que produzcan beneficios ambientales y, a menudo, ganancias económicas y de productividad. Asimismo, estas mejoras pueden aumentar la competitividad de las empresas, logrando que los retos de sostenibilidad se conviertan en oportunidades de negocio, empleo y exportación (PNUMA, 2012).

En otras palabras, el CPS conlleva la promoción de la eficiencia energética en el uso de los recursos, una infraestructura sostenible y la provisión de acceso a los servicios básicos, a trabajos dignos y verdes y a una mejor calidad de vida para todos. La aplicación del CPS como enfoque integrado ayuda a alcanzar las metas de los planes de desarrollo, a reducir futuros costos económicos, sociales y medioambientales, a fortalecer la competitividad económica y a reducir la pobreza (PNUMA, 2010).

Como se aprecia en el cuadro siguiente, la producción sostenible, como concepto y aplicación de sus principios, ha evolucionado en el tiempo, desde una primera visión que enfatizaba el Control de la Contaminación y el tratamiento de contaminantes, hacia conceptos más modernos como la Producción de Ciclo Cerrado o la Ecología Industrial que se enfocan en minimizar o eliminar materiales vírgenes, buscando la sinergia entre participantes de una comunidad o un ecosistema.

Tabla 4 Evolución conceptos y prácticas de producción sostenible

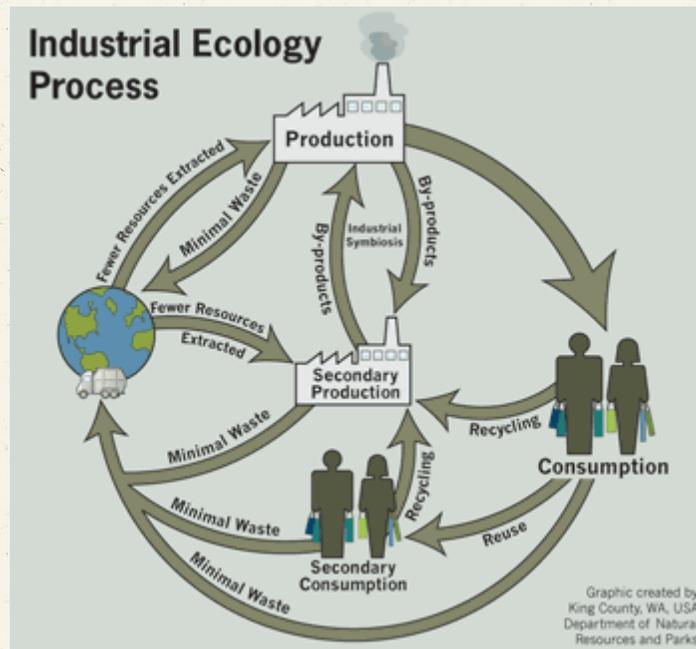
<b>Control de Contaminación</b>	Tratamiento ↓	<b>Implementación de tecnologías no esenciales</b> Soluciones de fin de tubería
<b>Producción más Limpia</b>	Prevención ↓	<b>Modificación de productos y métodos de producción</b> Optimización de procesos; baja la entrada y salida de recursos. Sustitución de materiales: no tóxico y renovable
<b>Ecoeficiencia</b>	Gestión ↓	<b>Gestión ambiental sistemática</b> Estrategias y Monitoreo Ambiental, Sistemas de gestión ambiental
<b>Pensamiento de ciclo de vida</b>	Ampliar ↓	<b>Extensión de la responsabilidad ambiental</b> Gestión de la cadena de suministro verde, responsabilidad social corporativa
<b>Producción de ciclo cerrado</b>	Revitalizar ↓	<b>Reestructuración de métodos de producción</b> Minimización o eliminación de materiales vírgenes
<b>Ecología Industrial</b>	Sinergizar ↓	<b>Integrar los sistemas de producción</b> Asociaciones ambientales, parques industriales ecológicos

Fuente: (UNIDO, 2011)

#### 4.1 Descripción

Se espera que el país avance hacia la producción de ciclo cerrado y ecología industrial. Para ello se postula la reestructuración de métodos de producción, buscando la minimización o eliminación de materiales vírgenes e integrar los sistemas de producción a través de asociaciones ambientales, parques industriales ecológicos, etc. Ello representa una visión integrada del impacto ambiental de los sistemas industriales, donde una planta industrial no es analizada aisladamente, sino como parte de un sistema, de manera análoga a como una especie es estudiada por los ecólogos como parte de un ecosistema. El desarrollo metodológico de la ecología Industrial coincide con la tendencia actual por parte de las empresas a verse como parte de una cadena de valor, en la que el éxito de un eslabón de la cadena no puede darse a costa de someter a una presión desmesurada a proveedores o clientes si no quiere ponerse en peligro la cadena entera.

En la figura siguiente se aprecia el proceso de la Ecología Industrial, con sus interacciones entre los consumidores primarios y secundarios, insumos, proveedores, etc.



**Figura 11** Esquema de utilización de recursos en una economía circular  
**Fuente:** (Cantarello & Newton, 2014)

Una Industria Verde promueve patrones sustentables de producción y consumo. Estos son patrones eficientes en el uso de recursos y energía, bajo en emisiones de carbono y generación de residuos, que no contaminan y son seguros, y cuyos productos se gestionan de manera responsable a lo largo de todo su ciclo de vida (UNIDO, 2011). Para ello, la Industria Verde “se orienta a integrar consideraciones ambientales, climáticas y sociales en las operaciones de las empresas y proporciona una plataforma para enfrentarse a desafíos mundiales interrelacionados, mediante una serie de enfoques y estrategias transversales para la acción inmediata que permiten sacar partido de las fuerzas industriales y comerciales emergentes” (UNIDO, 2011).

Para lograr lo anterior UNIDO (2011) plantea una estrategia en dos frentes. Un frente es el “enverdecimiento de la industria”<sup>13</sup> bajo el cual todas las empresas mejoran en forma continua su productividad de recursos y desempeño ambiental. Otro es el fomento y la creación sistemática de industrias verdes<sup>14</sup> clave para constituir un sector diverso de la economía que abarque todo tipo de servicios y tecnologías, incluyendo por ejemplo servicios de gestión de residuos y reciclaje, tecnologías de energías renovables y servicios de consultoría y análisis ambiental.

<sup>13</sup> Nos referimos aquí a lo que se conoce como “Greening of Industries” o Ecologización de toda la Industria (UNIDO, 2011).

<sup>14</sup> Industrias verdes se refiere solo al desarrollo de servicios y tecnologías que permiten la reducción de descargas contaminantes. No se debe confundir con Industria Verde que se refiere a todo el sector como se señala más arriba.

#### 4.1.1 *Tendencias internacionales relevantes*

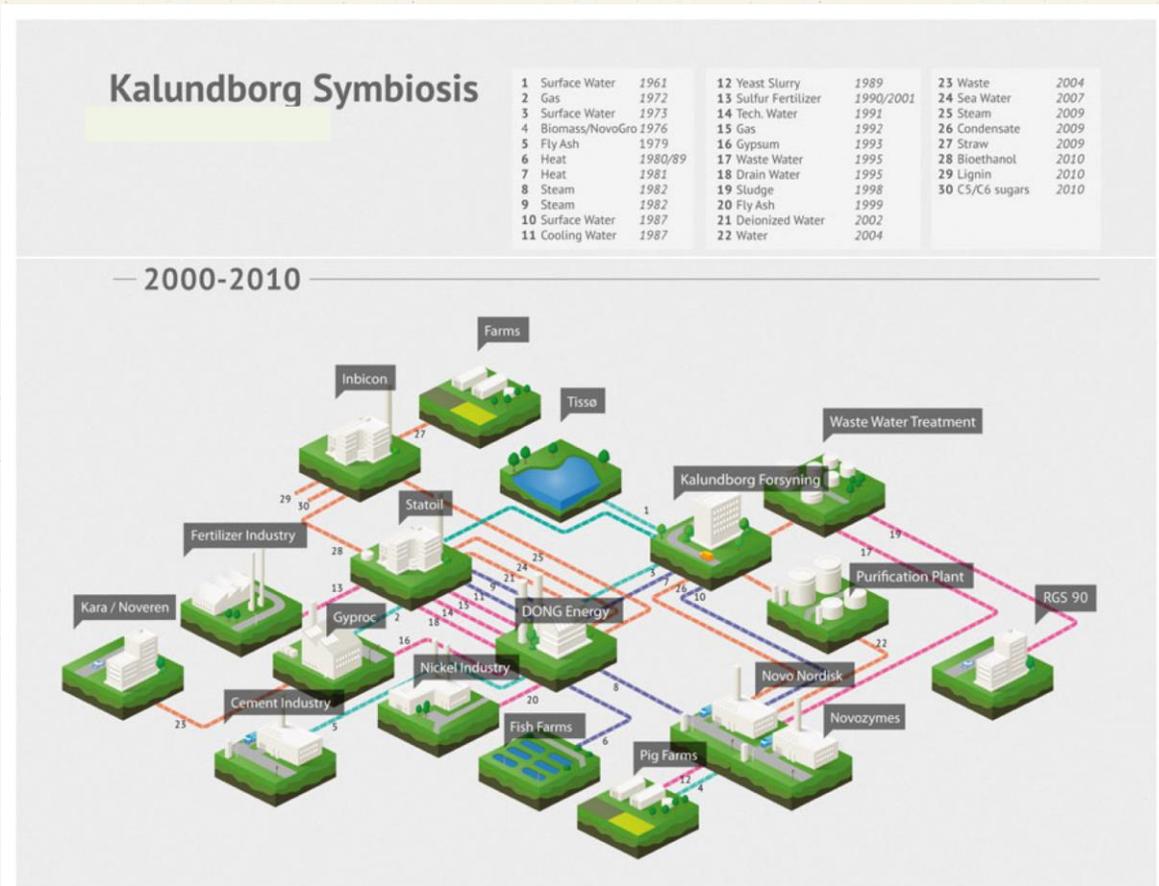
La simbiosis industrial de Kalundborg (Dinamarca) es una de las experiencias más vanguardistas en cuanto a ecología industrial. Desde 1960, la ciudad se convirtió en un centro industrial de gran importancia para el país gracias a la configuración de un parque eco-industrial a gran escala en su región; este hecho le ha merecido un reconocimiento como paradigma urbano de productividad.

Kalundborg Symbiosis es un ecosistema industrial, donde el subproducto residual de una empresa se utiliza como un recurso por otra empresa, en un ciclo cerrado. Una simbiosis industrial es una colaboración local, donde las empresas públicas y privadas compran y venden productos residuales, lo que resulta en beneficios económicos y ambientales mutuos (Kalundborg Symbiosis, 2015).

La heterogeneidad de Kalundborg es central en su sostenibilidad. Su diversidad estabiliza a nivel socioeconómico el sistema, mejora la eficiencia en el uso de materiales y aumenta la calidad ambiental. El modelo de su parque eco-industrial utiliza los desechos al mismo tiempo que diseña los productos, conformando un plan de reciclaje material. La enseñanza del sistema está en proteger las reservas naturales e interconectar distintos procesos productivos a través del uso económico de los desechos materiales como entradas para otros procesos (Latorre, 2009).

Por ejemplo la planta eléctrica, el centro del sistema, vende vapor a la refinería y a la planta farmacéutica, y el calor obtenido de los generadores se usa para la calefacción de edificios en la ciudad, así como para calentar invernaderos y granjas acuícolas. A su vez, la refinería vende gas y agua de enfriamiento a la planta eléctrica, y el azufre que produce se envía a la planta de ácido sulfúrico, mientras la industria de paneles de cartón yeso utiliza el sulfato de calcio enviado por la planta eléctrica y el gas combustible de la refinería; al mismo tiempo que la planta farmacéutica genera un lodo biológico que es usado como fertilizante en las granjas, y la mezcla de levadura en la producción de insulina se utiliza como suplemento para alimentar cerdos (López, 2009).

Es importante entender que la simbiosis surgida en Kalundborg no fue resultado de un cuidadoso proceso de gestión ambiental, fue el resultado de un desarrollo gradual de acuerdos cooperativos entre las cuatro firmas y el municipio. Así, desde el inicio, los participantes exploraron las alternativas posibles de cooperación medioambiental que fueran a la vez económicamente benéficas (Andy & Keoleian, 1995).



**Figura 12 Esquema de industrias de Kualundborg.**  
Fuente: (Kalundborg Symbiosis, 2015)

Otra experiencia importante son los eco-parques industriales de Canadá. El ejemplo más conocido es el Parque Burnside. Con el apoyo del Centro de Eco-eficiencia de la Universidad de Dalhousie, las más de 1.500 empresas han ido mejorando su desempeño ambiental y el desarrollo de asociaciones rentables.

El Centro de Eco-eficiencia trabaja para mejorar la eficiencia de compañías individuales con el apoyo de los gobiernos federales, provinciales, municipales y otros asociados. Asimismo promueve una visión sistémica apoyando la creación de sinergias entre negocios cuando es apropiada. Facilita la gestión ambiental ofreciendo servicios como: materiales de promoción y conservación de la energía a través de auditorías, la búsqueda de tecnologías para mejorar la eficiencia del uso de recursos, facilitar la reducción de residuos a través de su identificación y potencialidades de reúso, se establecen posibles vínculos (sinergias) entre las empresas. Se trabaja también en una bolsa de subproductos. Asimismo dicha organización lleva a cabo la I+D, educación y actividades de divulgación para aumentar las operaciones de negocio más verde, además facilita programas de intercambio de material que distribuya los recursos y desechos de una empresa a otra que pueda hacer uso de ella (Industrial Ecology, 2010).

Si bien este es el caso más importante de ecología industrial desarrollada entre un conjunto importante de industrias, existen otros casos que apuntan en la misma dirección. Tal es el caso de

IBM, empresa que creó diversos centros para el acopio de materiales de desecho, además de ampliar sus lazos de cooperación con centros de I+D para reciclar y reutilizar materiales de los distintos centros de distribución de la compañía (López, 2009).

## 4.2 Barreras identificadas

De acuerdo a (CEPAL, 2014), la transición hacia economías sostenibles o más verdes resulta compleja debido a los innumerables desafíos que enfrentan los países a la hora de emprenderlas. En el caso de los países en desarrollo, estos países no solo deben enfrentar el desafío de acelerar el crecimiento y reducir las brechas de ingresos con el mundo desarrollado, sino que además deben reducir la heterogeneidad, mejorar el acceso a bienes y servicios básicos y aumentar el bienestar de la población sin imponer una excesiva degradación sobre el medioambiente. Estos países deben conciliar las políticas de desarrollo sostenible con políticas sociales. Esta conciliación es especialmente difícil en estos países, porque los problemas sociales que enfrentan son más graves y parten de estructuras muy poco diversificadas, altamente dependientes de unos pocos commodities.

En este sentido, dentro de las principales barreras que dificultan la internalización de estos conceptos en la industria se destaca la poca cultura de innovación y asociatividad. En este sentido, se requiere de un alto grado de esfuerzo en el desarrollo de acuerdos de asociación y cooperación entre las firmas y las autoridades. En particular, en la minería han existido innumerables iniciativas de trabajo con distintos agentes de la cadena de valor de la industria, sin mayores éxitos ni avances en el trabajo colaborativo (Centro de Energía, 2014) (COCHILCO, ND).

Esto implica el gran desafío de cerrar las brechas de productividad no solo entre los países de la región sino que también al interior de los propios países, y generar un cambio estructural virtuoso, al mismo tiempo avanzar en la igualdad basada en el ejercicio pleno de los derechos y hacia patrones productivos y de consumo amigables con el medioambiente (CEPAL, 2014).

Otras barreras importantes identificadas se describen a continuación.

**Barreras técnicas:** Encontrar formas de reutilizar los subproductos y residuos, y hacer uso eficiente de los recursos requiere soluciones tecnológicas y de gestión. Si bien muchos de los subproductos se pueden utilizar, las soluciones innovadoras para hacer frente a algunos residuos no están totalmente disponibles. Se requiere la creación de un área de investigación y desarrollo que en ocasiones no pueden ser soportadas por las empresas, por sus altos requerimientos (Ministerio del Medio Ambiente, 2015).

**Información:** Para hacer que el trabajo sea eficaz y eficiente la información debe fluir de forma vertical y horizontal. La implantación de principios regidos por la ecología industrial, es una de las maneras de garantizar que la información está disponible y sea compartida entre las partes interesadas. En el contexto competitivo de la industria, compartir información puede ser difícil, sin embargo, las industrias necesitan mecanismos para facilitar las conexiones y vínculos entre las empresas y las estrategias para recopilar información de fuentes dispersas (Ministerio del Medio Ambiente, 2015).

**Económicos:** La competencia entre las empresas y el deseo de maximizar los rendimientos de las inversiones representa un obstáculo importante para la aplicación de la ecología industrial. Dado

que la Industria percibe que la gestión de los residuos en pro del cuidado ambiental es costosa. Sin embargo, hay muchas evidencias de que la prevención de la contaminación ahorra dinero. La ecología industrial se puede ver como prevención de la contaminación aplicada a grupos o parques industriales. El costo de las soluciones de diseño innovadoras puede probar el financiamiento, arrendamiento y gestión de las organizaciones anfitrionas de los proyectos. La inseguridad de los mercados y los cambios en las actividades empresariales pueden crear condiciones que limitan el interés en las innovaciones para la sostenibilidad (Ministerio del Medio Ambiente, 2015).

**Regulatorios:** En el contexto de las regulaciones que se desarrollan para tratar de inducir el buen comportamiento y cumplimiento en la industria, se pueden generar ambientes de confrontación que presentan un desafío a la cooperación, especialmente en las pequeñas y medianas empresas. Regulando definiciones de residuos y residuos peligrosos, en particular, puede desalentar a las oportunidades de utilizar los subproductos (Ministerio del Medio Ambiente, 2015).

**Motivacional:** Tal vez el obstáculo más difícil de superar es el reto de motivar a las empresas y las comunidades para hacer las cosas de manera diferente y atraer a los consumidores a cambiar sus actitudes. Nuestra sociedad de consumo ha aceptado la idea de lanzar "la basura afuera" aunque esta tradición parece estar cambiando. Hemos visto la naturaleza como fuente de riqueza material sin fin y un receptor inagotable para nuestros desechos. La ecología industrial se propone una nueva mentalidad, una que requiere del estudio de los flujos de entrada y salida para realizar el seguimiento y gestión, en busca del beneficio de las empresas, la sociedad y el medio ambiente. (Carrillo, Constantino, & Roldán, 2010).

En lo que respecta a la institucionalidad, de acuerdo a (BID, 2008), no obstante los avances registrados, los ministerios de Medio Ambiente siguen siendo débiles, tanto en el plano político como en el presupuestario, y su papel no es plenamente comprendido por otras autoridades gubernamentales, el sector privado y/o la población en general. Se espera que dichos ministerios se encarguen de solucionar todos los problemas ambientales mientras los demás se limitan a mantener su rutina habitual. Además, la aplicación de normativas ambientales es relativamente débil, de acuerdo a indicadores internacionales de competitividad global.

Por otra parte, en lo que respecta a la legislación ambiental y los instrumentos de políticas en la región, (BID, 2008) constata que la mayor parte de los países han favorecido el enfoque tradicional de comando y control. Sin embargo, la eficacia de esas medidas ha sido limitada, por cuanto las autoridades no siempre disponen de los recursos financieros y técnicos necesarios para aplicarlas de manera efectiva. Asimismo, en muchos segmentos del sector privado, e incluso entre los responsables de las políticas económicas, aún prevalece la idea de que la gestión ambiental es un gasto "no productivo" que dificulta la competitividad.

En el caso de las PYMEs en la región, ellas enfrentan una serie de importantes desafíos, entre los que destacan:

- La baja conciencia que existe dentro de las PYMEs sobre el impacto ambiental
- Dificultades para el acceso a financiamiento e inversión
- Incertidumbre asociada a los costos, tiempos de ejecución y resultados de largo plazo de los nuevos procesos relacionados con la mitigación del impacto ambiental
- Necesidad de capacitar adecuadamente a su personal
- Limitado acceso a la información, el conocimiento y la tecnología

- Baja capacidad para responder a una regulación más estricta
- Barreras para participar en los mercados de bienes verdes y cadenas de valor mundiales: alta demanda de recursos financieros

### 4.3 Ventajas y oportunidades

Como se evidencia en la sección anterior, existe una gran cantidad de falencias y desafíos en los países de la región, lo que se traduce en barreras que limitan el desarrollo hacia una economía verde y producción sostenible. Luego, ¿cómo pueden hacer las empresas en los países en desarrollo para superar estas barreras? ¿cómo pueden llegar a ser más verdes y reducir su huella ambiental y al mismo tiempo seguir creciendo y ofreciendo bienes y servicios, así como puestos de trabajo a sus sociedades? Y entonces, ¿cómo deberían responder los gobiernos de los países en desarrollo?

Las respuestas a estas preguntas generan una gran cantidad de oportunidades a partir del acceso a las soluciones que presentan los enfoques de economía circular y ecología industrial, lo que se traduce en una gama muy importante de beneficios para las empresas y los países que las adoptan.

En el caso de las industrias, los beneficios pueden ir desde mejoras en productividad, dado por el acceso a tecnologías eficientes, hasta acceso a mercados con estándares exigentes. En el caso de los países, en lo que respecta a su capital físico y humano, los beneficios van desde el uso eficiente de los recursos, la reducción de los impactos ambientales por la producción, hasta la generación de empleos de calidad y mejoras en las capacidades de la mano de obra técnica y especializada.

Dentro de las oportunidades que se pueden aprovechar en términos particulares, se pueden mencionar los fuertes incentivos que las compañías tienen para reducir sus costos a través de eficiencia energética, combustibles alternativos y materias primas y las mejoras en la infraestructura de gestión de residuos, donde, para la aplicación de los principios de ecología industrial, es fundamental la recolección, reciclaje, transporte y los sistemas de eliminación de residuos industriales.

De la misma forma, el desarrollo de la ley de Responsabilidad extendida del productor (REP) y su mejoramiento en el tiempo, genera definiciones y obligaciones de generadores, gestores, consumidores, importadores y exportadores de residuos y productores, consumidores, distribuidores y comercializadores de productos prioritarios. La regulación permite establecer metas para la recolección y valorización de residuos, creando así nuevos negocios, generando usos alternativos para los mismos, y disminuyendo su disposición final. Además, la REP obliga a los productores a considerar los costos para el manejo de su producto al momento de convertirse en residuo, generando así un incentivo de prevención (Ministerio del Medio Ambiente. Chile).

De acuerdo a (UNIDO, 2009), las políticas implementadas en este contexto no sólo traen beneficios desde el punto de vista ambiental, sino que también tiene importantes beneficios económicos. La mayor eficiencia en el uso de materiales y la energía reducen los costos de operación en la industria. De acuerdo a los costos de material y energía representan el 40 - 60% de los costos operativos de las empresas de los países en desarrollo, por lo que el impacto puede ser significativo.

Por otra parte, el surgimiento de grupos con intereses ambientales y de salud pública, en conjunto con el aumento de la presión por hacer sustentable la actividad económica a nivel global, promueven hoy en día un cambio en las políticas nacionales respecto del uso de la energía y la generación y reutilización de residuos. Para ello, los gobiernos están trabajando en adoptar nuevas normativas y prácticas que reduzcan el impacto medioambiental de la industria (Vigon, 2002). En este sentido, es posible minimizar las externalidades negativas de la industria a través del aumento del rendimiento de los recursos naturales, desvinculando el crecimiento económico del uso de los recursos naturales y reduciendo consecuentemente las emisiones de gases de efecto invernadero (McKinsey & Company, 2015).

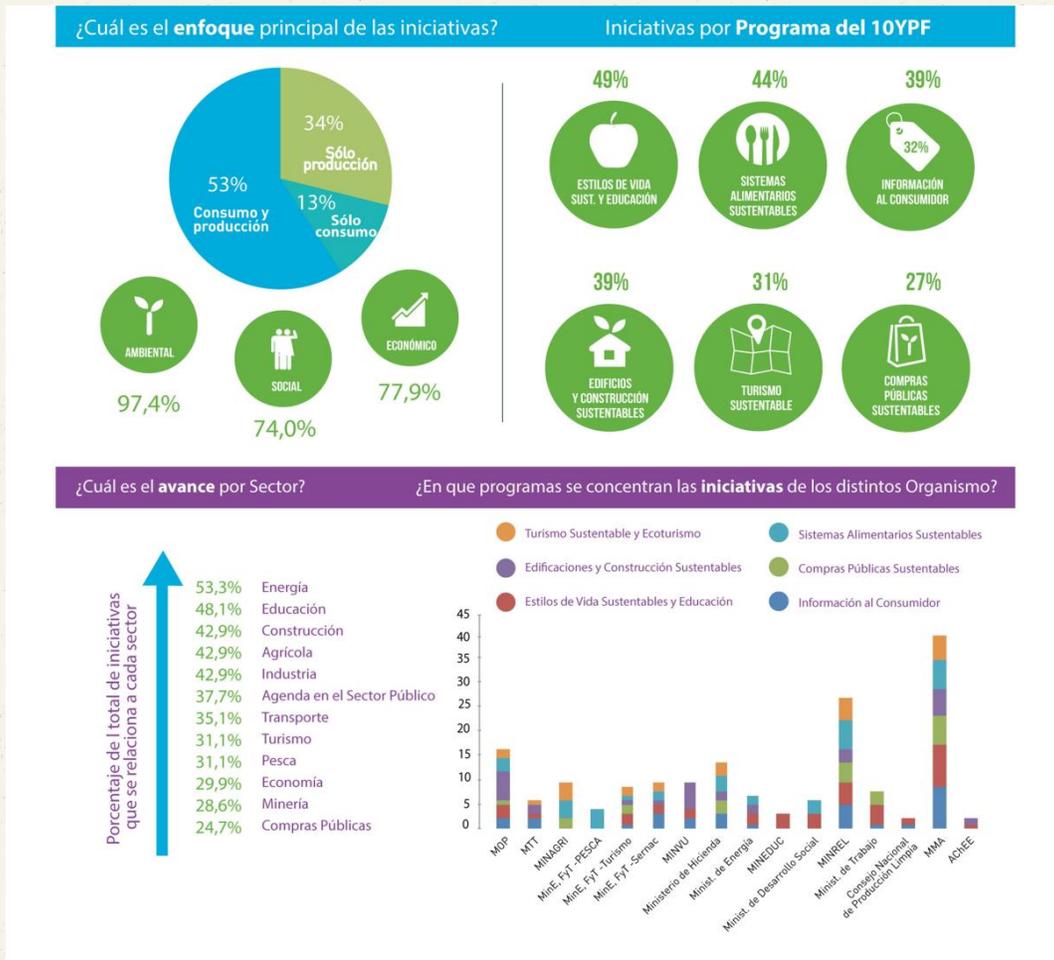
De acuerdo a (McKinsey & Company, 2015), la economía circular podría beneficiar enormemente el medio ambiente y aumentar la competitividad y la capacidad de recuperación en Europa. A través de la disociación del crecimiento económico del uso de los recursos, en los sectores movilidad, alimentos y construcción del entorno, las emisiones de carbono se reducirían en un 48 por ciento en 2030 (31 por ciento en la actual senda de desarrollo) y el 83 por ciento en 2050 (61 por ciento en la actual senda de desarrollo), en comparación con los niveles del 2012. Los vehículos eléctricos, compartidos y autónomos, la reducción de los residuos de alimentos, cadenas de alimentos regenerativos y saludables, “casas pasivas”, planificación urbana y de energía renovable serían las principales fuentes de reducción de emisiones en los tres sectores.

A nivel nacional, existe una importante oportunidad a través del impulso inicial a estas temáticas, que está siendo liderada por el Ministerio del Medio Ambiente. Ello corresponde al diagnóstico de potencialidades de desarrollo en consumo y producción sustentable que se están implementando en el sector público y que permitirían producir inercias para fomentar que algunos sectores avancen en este ámbito. Como se aprecia en la figura siguiente, las principales iniciativas se han orientado hacia un enfoque principalmente productivo (59% de las iniciativas) con énfasis en producción más limpia, eficiencia energética y certificación.



**Figura 13 Diagnóstico de iniciativas del sector público en CPS**  
**Fuente: Información proporcionada por el Ministerio del Medio Ambiente (2015)**

En la misma línea, como se presenta en la figura siguiente, los sectores en los que se concentran la mayor parte de las iniciativas corresponden a energía, educación, construcción y agrícola. El Ministerio del Medio Ambiente y el de Relaciones Exteriores son los que agrupan la mayor cantidad de iniciativas.



**Figura 14 Enfoque principal de las iniciativas del sector público en CPS**  
**Fuente: Información proporcionada por el Ministerio de Medio Ambiente (2015)**

Por último, otro ejemplo nacional del sector privado, que va en la línea de este nuevo enfoque es el “Proyecto Corredor”, desarrollado por las mineras TECK y Gold Corp., que combinarán en un solo proyecto las iniciativas El Morro y Relincho, en la provincia de Huasco en la Región de Atacama.

Además de generar un importante ahorro económico, con una reducción de la inversión por separado con respecto al proyecto conjunto de US\$ 4.900 MM (US\$ 8.400 MM versus US\$ 3.500 MM), el proyecto logra un desempeño ambiental significativamente mejorado. Por ejemplo, el proyecto considera solo una instalación de relaves común reubicada desde la cuenca del Río Huasco (de importancia agrícola) hacia el área más seca de la Quebrada Algarrobal. También contempla molino, puerto y planta de desalinización únicos, además de infraestructura combinada de servicios (caminos, tuberías, energía) y uso de agua desalinizada en el proceso. En las figuras siguientes se puede observar las dos configuraciones territoriales e instalaciones asociadas del proyecto (conjunto y separado).

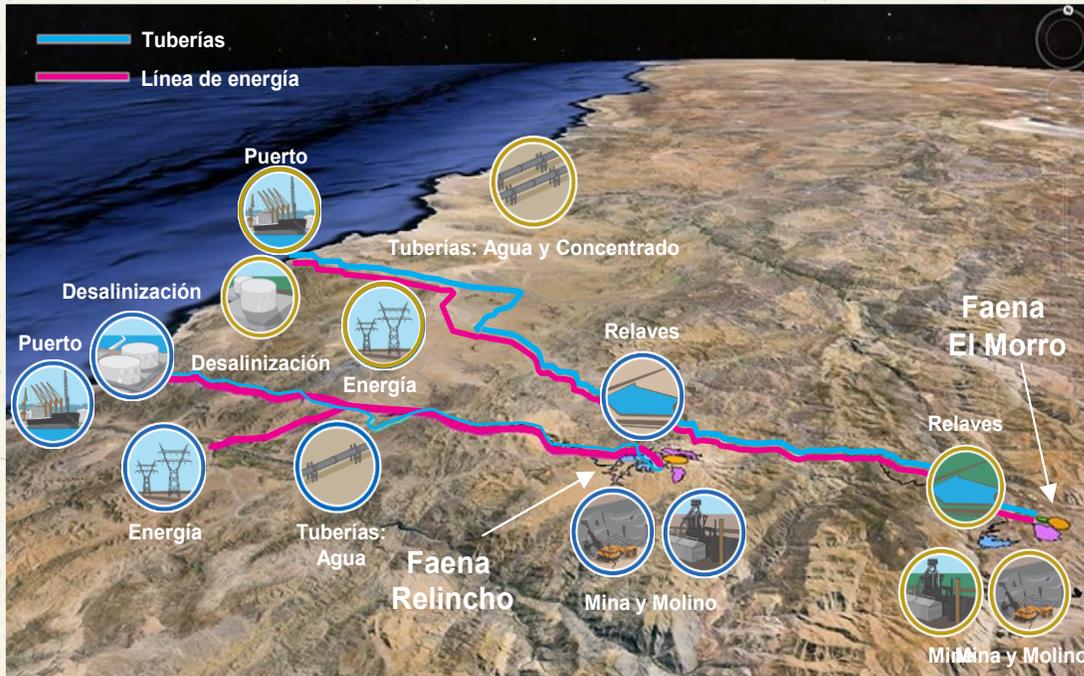


Figura 15 Configuración e instalaciones asociadas del proyecto separado  
Fuente: [www.proyectocorredor.cl](http://www.proyectocorredor.cl)

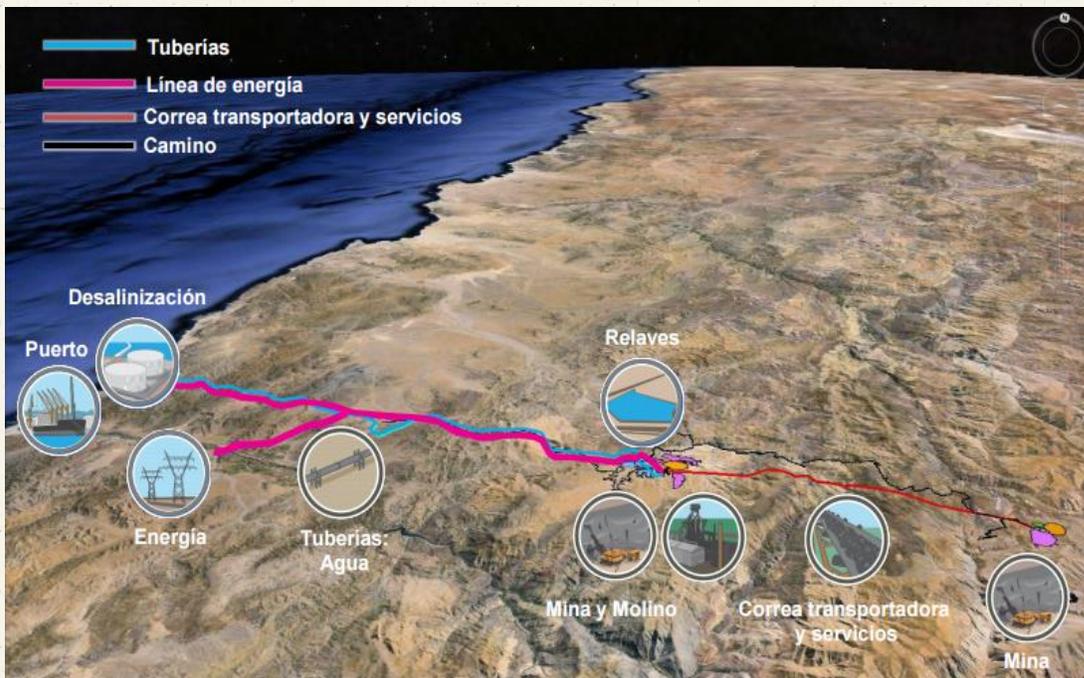


Figura 16 Configuración e instalaciones asociadas del proyecto conjunto  
Fuente: [www.proyectocorredor.cl](http://www.proyectocorredor.cl)

#### 4.4 Secuencialidad

Es difícil definir una secuencialidad en estas temáticas que consideran el cambio de enfoques productivos, a través de las prácticas de la industria, la regulación y los objetivos a nivel país. Sin embargo, existen una serie de iniciativas que se plantean horizontes de mediano y largo plazo para mejorar el desempeño de la industria, a través de muchas de las variables mencionadas anteriormente. Entre ellas se pueden mencionar los Programas Estratégicos de Especialización Inteligente de CORFO, los que se encuentran en proceso de implementación (con distintos grados de avance y alcance territorial) y que llegarán a una hoja de ruta de largo plazo (horizonte de 20 años plazo). Los programas que son parte de esta línea de CORFO son:

- Minería Virtuosa
- Turismo Sustentable
- Agro-alimentos Saludables
- Construcción Sustentable
- Economía Creativa
- Pesca y Acuicultura
- Sustentable
- Tecnologías y Servicios de la Salud

Además, ellos se relacionan con las siguientes Plataformas Habilitantes:

- Logística
- Energía / Agua
- Industrias Inteligentes (incluye manufacturas avanzadas)
- Biotecnología aplicada a industrias y salud

Un sector que está desarrollando diversas iniciativas en la dirección de repensar su desarrollo futuro es la minería. Iniciativas como la “Minería: Una Plataforma de Futuro para Chile”<sup>15</sup> y la Iniciativa Scenario Planning “Una Minería Sostenible en la Zona Central de Chile: Escenarios al 2035”<sup>16</sup>, entre otras. En estos esfuerzos, gran parte de las medidas de futuro propuestas van en la línea del respeto por el medioambiente y las comunidades, el desarrollo de proveedores y el entorno socioeconómico, aprovechamiento de oportunidades energéticas, residuos, entre otras, que tienen mucha relación con el enfoque propuesto. En particular, las dos iniciativas mencionadas tienen como horizonte el año 2035.

En todo caso, es importante hacer notar que la industria nacional se encuentra cada vez más “presionada” por factores que la llevan hacia una producción sustentable y que podrían acelerar esta transición. Por una parte está la tendencia internacional que empuja hacia un crecimiento verde y la implantación de estrategias bajas en carbón. Por otra parte, la globalización y creciente competencia internacional obliga a las empresas a una mayor eficiencia en el uso de sus recursos. Los mercados por su parte, respondiendo a las demandas crecientes de los consumidores de países más desarrollados, están también exigiendo productos y procesos más limpios. Esto se

---

<sup>15</sup> Informe a la Presidenta de la República, Michelle Bachelet. Comisión Minería y Desarrollo de Chile Consejo Nacional de Innovación y Competitividad. Diciembre de 2014.

<sup>16</sup> Realizada por iniciativa del Ministerio de Minería de Chile, CORFO y SONAMI, durante el segundo semestre del 2014.

refuerza con las regulaciones impuestas por el Estado que presionan a las empresas a cumplir con normas que cautelen la calidad de vida de sus ciudadanos. Finalmente, las comunidades locales también exigen que las empresas tengan un desempeño ambiental superior al observado hasta ahora.

## 5. Industria solar

Esta medida de mitigación se enmarca dentro de la categoría Nuevos enfoques y desarrollos productivos, que aglutina actividades relacionadas con la búsqueda de nuevas actividades productivas e industrias más limpias, que permitan mantener el crecimiento económico del país y complementar a otros negocios basados en recursos naturales, como la minería.

Ella consiste en el desarrollo de una industria de energía solar a partir de soluciones de base tecnológica que cumplan con estándares de calidad de clase mundial y precios competitivos, para mejorar sustancialmente la productividad del país y transitar hacia una economía del conocimiento, aprovechando las privilegiadas condiciones de laboratorio natural que presenta el país.

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

Refrendando lo anterior, en las figuras siguientes se puede apreciar que Chile posee uno de los costos de la electricidad a nivel industrial más altos de Sudamérica, sólo superado por Brasil, y dentro de los más altos de Latinoamérica y el Caribe. Igualmente, a nivel mundial, nuestro país se encuentra en el primer cuartil de países con más alto precio de la electricidad a nivel industrial.

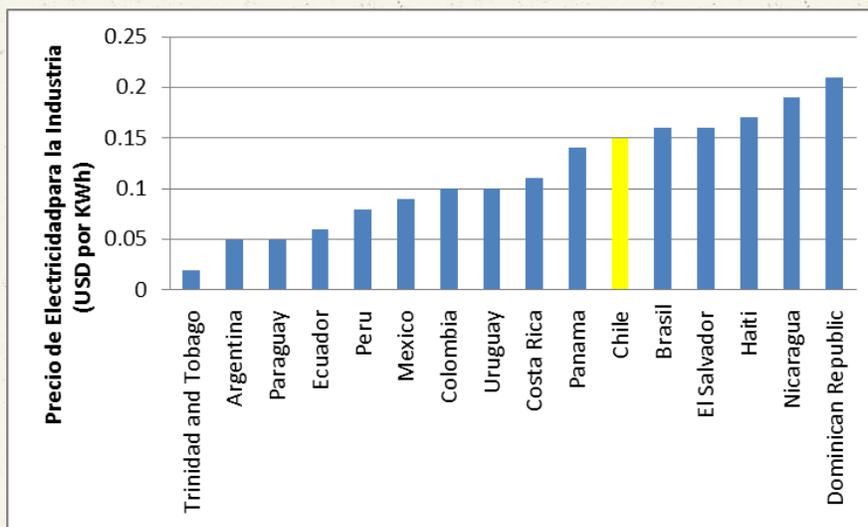
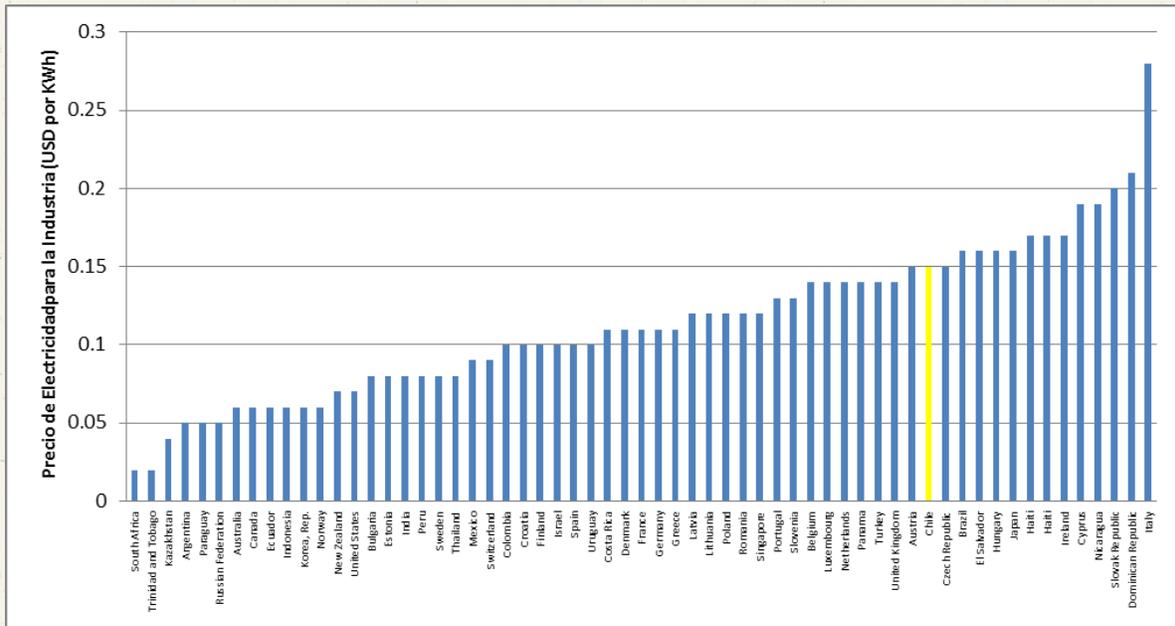


Figura 17 Precio de la electricidad a nivel industrial en países de Latinoamérica y el Caribe  
Fuente: (WEF, 2014)



**Figura 18 Precio de la electricidad a nivel industrial en el mundo**  
**Fuente: (WEF, 2014)**

Como parte de la política nacional para hacer frente a este aumento sostenido de la demanda, el Estado de Chile, a través de sus diferentes gobiernos, ha impulsado políticas para apoyar el desarrollo sostenible del país propiciando la participación de energías renovables en la matriz energética. Este objetivo se plantea en la Agenda de Energía 2014 y se plasma en instrumentos concretos como la Ley 20/25<sup>17</sup> que busca fomentar la inclusión de las energías renovables estableciendo una meta mínima de un 20% de penetración al 2025.

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

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

Esta coyuntura entrega una oportunidad histórica para el desarrollo de proyectos de energía solar y ofrece la posibilidad de mejorar el rendimiento de las diferentes tecnologías y potenciar una industria solar sustentable en nuestro país.

<sup>17</sup>“Gobierno promulga Ley 20/25 y anuncia entrada en vigencia de Ley de Concesiones”, Ministerio de Energía, Octubre 14, 2013. <http://www.minenergia.cl/ministerio/noticias/generales/gobierno-promulga-ley-20-25-y-anuncia.html>

## 5.1 Descripción

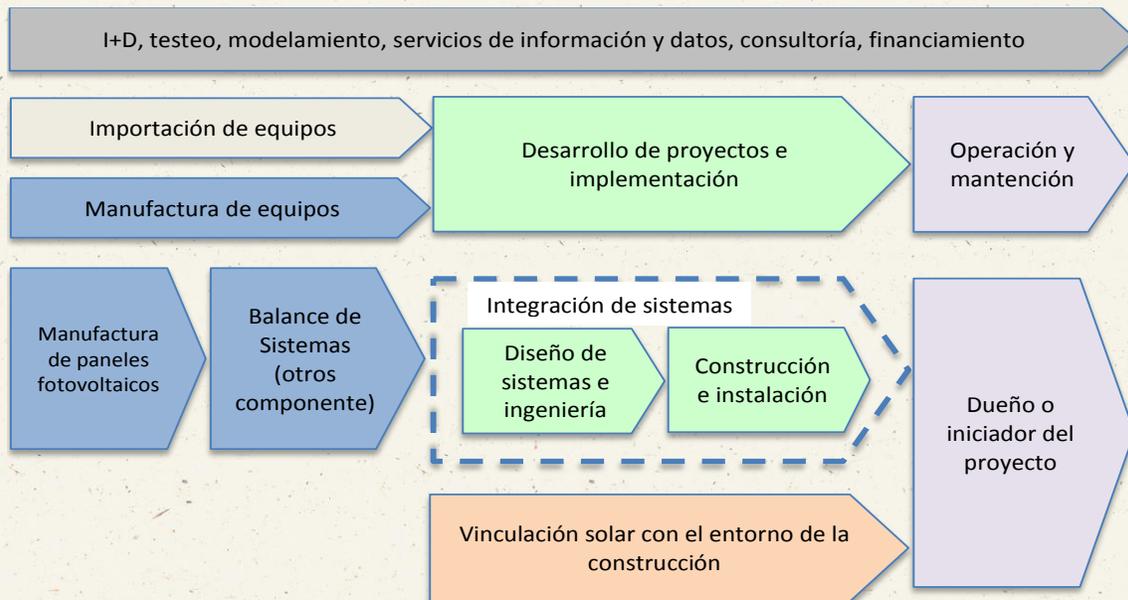
La industria solar se organiza a escala global con la participación de varios países a lo largo de la cadena de valor, centrando las principales actividades de manufactura de equipamiento en China; desarrollo de proyectos fotovoltaicos (FV), concentración solar de potencia (CSP) y termosolar a lo largo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

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

La descripción y análisis del sistema de valor de la industria solar incluye a proveedores, productores, distribuidores y compradores que participan en el desarrollo de esta industria a nivel nacional y regional. En el caso del estudio (Centro de Energía, 2015), el sistema de valor de la industria solar para la Región de Antofagasta comprende los siguientes componentes del sistema: i) manufactura de equipos, ii) desarrollo de proyectos e implementación, iii) operación y mantenimiento, iv) actividades de formación y v) actividades científicas y tecnológicas. Para cada uno de ellos se identificó oportunidades, amenazas, fortalezas y debilidades de cada ámbito considerando las siguientes variables: i) marketing y ventas, ii) producción y operación, iii) infraestructura de la empresa, iv) capacidad de gestión financiera, v) gestión de recursos humanos, vi) desarrollo de tecnología y v) adquisiciones.

Luego, la base para el desarrollo de una industria solar que capture valor de manera importante a nivel nacional y no solo se limite a ser usuarios de tecnología importadas, es poder participar de manera activa en algunos de estos componentes del sistema de valor. Para ello, el estudio (Centro de Energía, 2015), propone una estrategia de desarrollo industrial traccionada por la demanda de electricidad y calor de los sectores mineros, industriales y comercial, público y residencial y habilitada por las condiciones de irradiación excepcionales del norte del país.

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



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

**Figura 19 Descripción sistema de valor industria solar para tecnología FV, CSP y Termo**  
**Fuente: (Centro de Energía, 2015)**

Leyenda

Color	Tecnologías
Color rosa	FV + CSP + Termo
Color azul claro	FV
Color amarillo	FV + CSP
Color rojo oscuro	CSP + Termo

Por otra parte, si bien se ha producido un desarrollo notable desde el año 2000 en la penetración y consolidación de las tecnologías, aún existen importantes áreas de investigación y desarrollo en el ámbito de la energía solar, lo que abre oportunidades para buscar brechas de desarrollo tecnológico y de servicios a nivel nacional. A nivel general, los espacios de investigación y desarrollo comprenden temas tales como:

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

En el caso de los Sistemas Fotovoltaicos, existen múltiples áreas de I&D que van desde el desarrollo de nuevos materiales y procesos de fabricación hasta sistemas avanzados de alta concentración (con muy elevados rendimientos). También existe una importante área de investigación y desarrollo en componentes tales como controladores, inversores y sistemas de acumulación de energía. Esta es un área sumamente dinámica y activa.

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

Si se piensa en el norte de Chile, con la gran cantidad de actividad minera, es evidente que se deben aprovechar las oportunidades para ir integrando la energía solar a diversos procesos y desarrollar la industria basada en este beneficio mutuo. Solo a modo de ejemplo, se pueden considerar aplicaciones como:

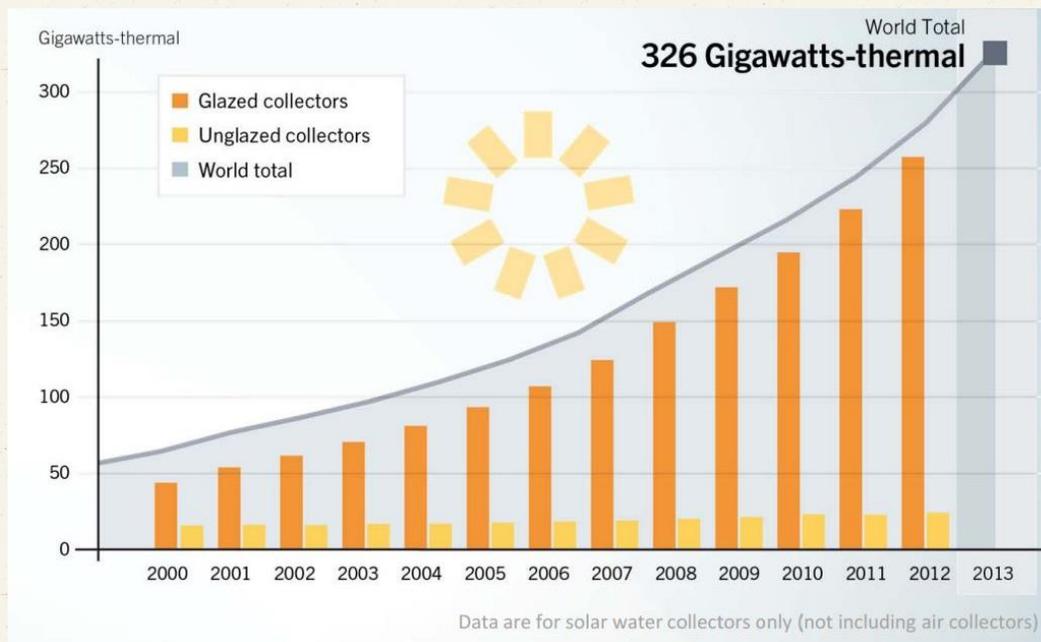
- Generación de calor para electroobtención: es algo que ya se está iniciando, pero aún falta mucho para optimizar y seguir bajando costos.
- Generación de calor para aportar a pilas de lixiviación. Se sabe que si se calientan las soluciones de refinación, se puede acelerar la producción de cobre y mejorar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

### 5.1.1 Tendencias internacionales relevantes

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

#### **Generación térmica**

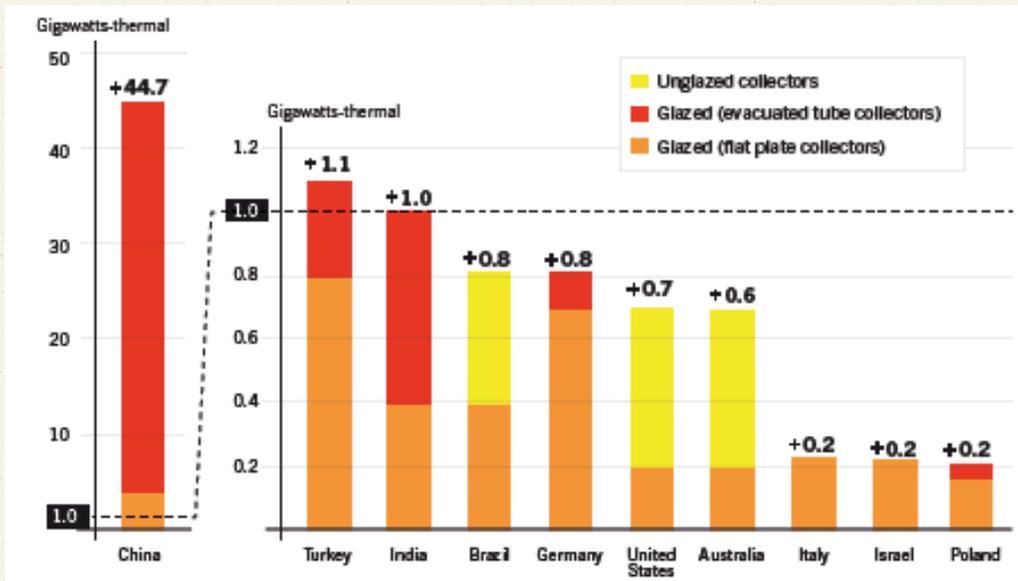
Gran parte de la generación térmica es para agua caliente sanitaria. En la figura siguiente se observa la evolución de este mercado entre el año 2000 y el 2013. Se calcula que la capacidad total instalada a nivel mundial equivale a 326 GWt.



**Figura 20 Capacidad Mundial Colectores Solares Térmicos**  
Fuente: REN21 Global Status Report 2014

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

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



**Figura 21 Capacidad mundial agregada en 2012 de Colectores Solares Térmicos (países top 10).**  
**Fuente: REN21 Global Status Report 2014**

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

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

### **Generación fotovoltaica**

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

En cuanto a los países con mayor capacidad, los principales actores se ven en la figura siguiente. El país con mayor capacidad de generación es Alemania (con 37 GW), seguido de China (con 18 GW),

el cual agregó 11,8 GW sólo el año 2013. Por lo tanto es de esperar que en poco tiempo supere la generación de Alemania.

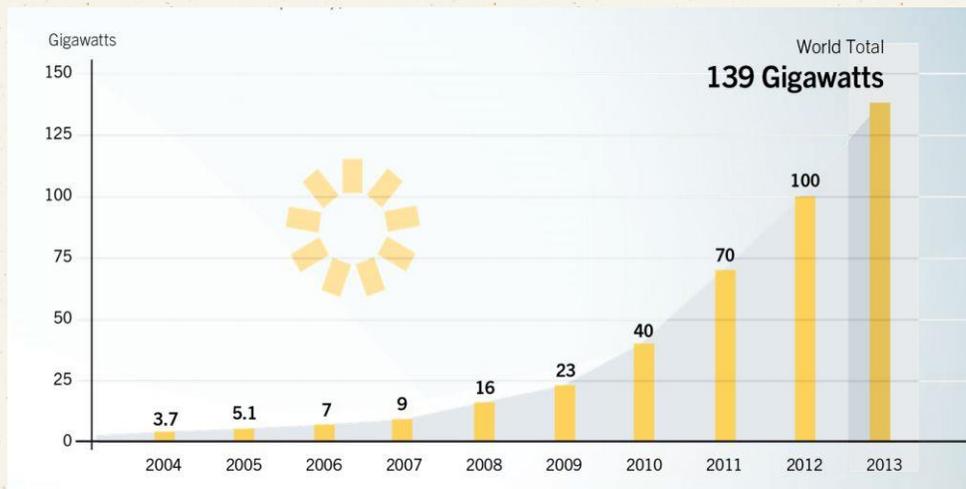
La participación de energía fotovoltaica comercial y de propiedad de empresas de servicios siguió aumentando en 2013, pero el sector residencial también registró un fuerte crecimiento de la capacidad.

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

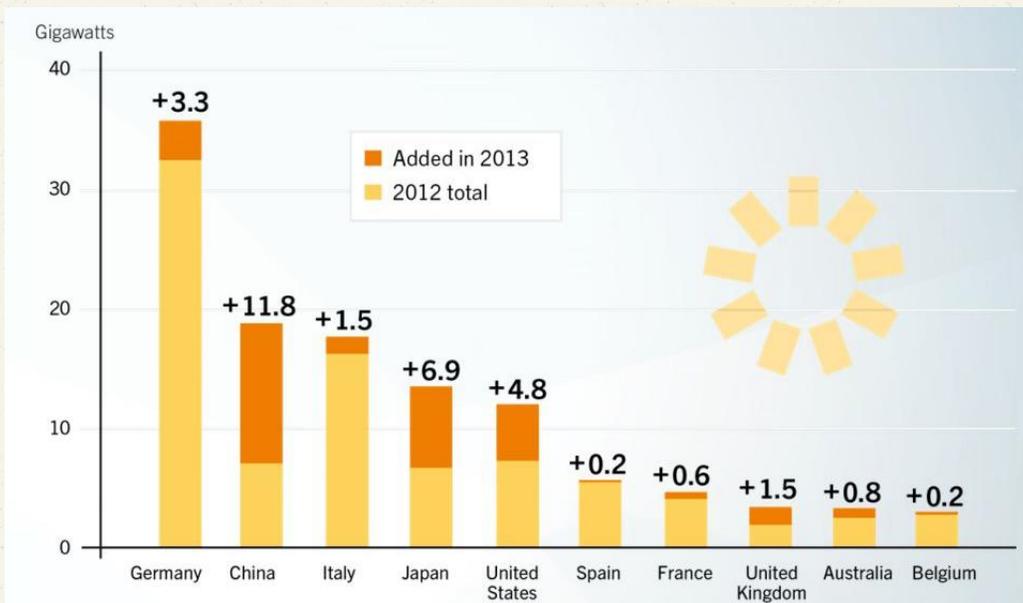
Durante la última década, la producción de módulos se ha desplazado desde los Estados Unidos, a Japón, Europa, y de vuelta a Asia, con China, dominando los envíos desde 2009. En 2013, Asia representó el 87% de la producción mundial (frente al 85% en 2012), con China produciendo el 67% del total mundial (casi dos tercios en 2012). La participación de Europa siguió disminuyendo, hasta el 9% en 2013 (11% en 2012), y la participación de Japón se mantuvo en 5%. La participación de Estados Unidos fue de 2,6%; las películas delgadas representó el 39% de la producción estadounidense, frente al 36% en 2012.

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

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



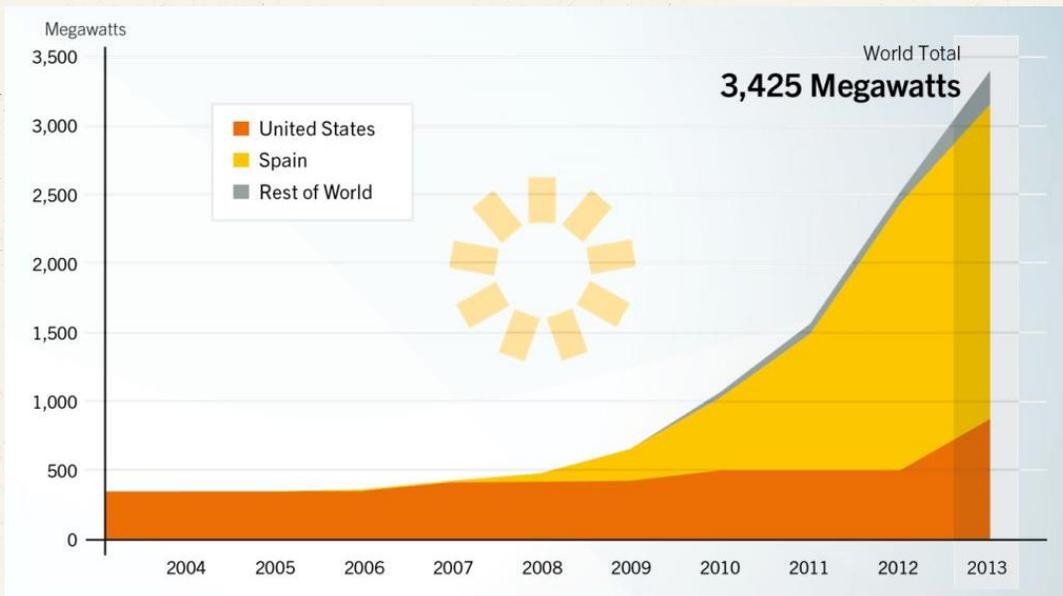
**Figura 22 Capacidad Mundial de Generación FV**  
Fuente: REN21 Global Status Report 2014



**Figura 23 Capacidad por País**  
**Fuente: REN21 Global Status Report 2014**

**Sistemas termosolares**

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



**Figura 24 Capacidad Mundial Termosolar por región.**  
**Fuente: REN21 Global Status Report 2014**

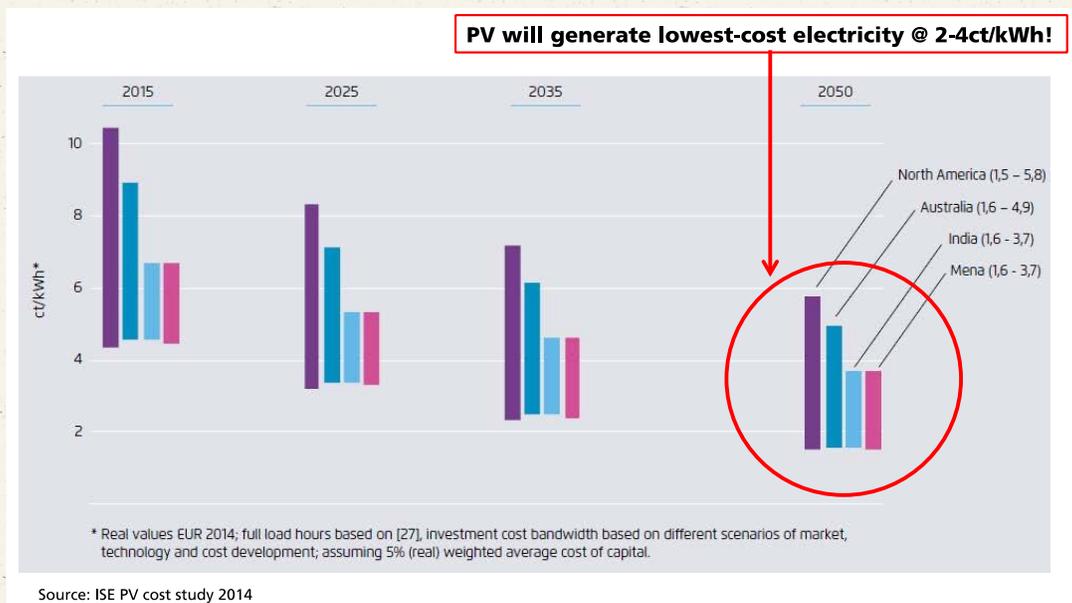
Vale la pena destacar que hasta antes del 2007, casi el total de la capacidad mundial se ubicaba en Estados Unidos. Por políticas de incentivo en España, además del desarrollo que emprendieron a través del CIEMAT y otras organizaciones desde los años 80, la producción en España ha tenido un crecimiento espectacular. Esta tendencia se da dado porque España es el único que tiene condiciones razonables para desarrollar sistemas termosolares en gran escala. De los demás, sólo Francia e Italia tienen buenas condiciones en lugares específicos.

Estados Unidos se convirtió en el líder del mercado en el 2013, agregando 375 MW al finalizar el año, con casi 0,9 GW en operación, y poco menos de 1 GW en construcción. En otros mercados, la capacidad casi se triplicó durante 2013, a poco menos de 250 MW.

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

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

Como se mencionó anteriormente, los costos de la generación eléctrica solar (FV) han descendido de manera muy importante en los últimos 5 años y se espera que ellos se reduzcan aún más, como se aprecia en la figura siguiente. Se observa que los costos bajarían a cerca de la mitad al año 2050, respecto del 2015, según la información recopilada por el Programa Estratégico Solar que lidera CIFES.



**Figura 25 Costo electricidad FV (LCOE) al 2050 en distintas regiones**  
**Fuente: Presentación Sr. Juan Rada, Programa Estratégico Solar, CIFES (2015)**

Debido a los costos competitivos ha habido una rápida introducción de las tecnologías solares en el mundo, en particular en Chile. Ello ha provocado la instalación de cerca de 200 GWp al 2015. Dada la baja en los costos, la madurez de la industria y los desarrollos relacionados con las tecnologías de generación y almacenamiento, se espera que se instalen entre 4.000 a 30.000 GWp al 2050 (CIFES, 2015).

## **5.2 Barreras identificadas**

Una de las principales barreras relacionadas con el desarrollo de una industria solar con alto valor agregado es la actual situación mundial, en que la mayoría de los desarrollos tecnológicos se concentran en China y algunos países europeos y a nivel nacional básicamente se importan tecnologías y se ofrecen servicios con bajos encadenamientos productivos.

Para avanzar en el sentido de una industria con mayor captura de valor agregado a nivel nacional es necesario contar con conocimiento científico y tecnológico, enfocado en resolver desafíos propios del país. Para esto es fundamental disponer de capital humano, tanto avanzado como técnico, con enfoque colaborativo, por lo que la formación del mismo, pasa a ser otra barrera relevante a vencer.

En la misma línea, en la actualidad aún existe un desconocimiento a nivel de usuarios (industriales, comerciales y públicos) del uso y potencial de las tecnologías en base a energía solar, así como del capital humano requerido en las distintas etapas del sistema de valor.

Desde el punto de vista regulatorio e institucional, se percibe una lenta adaptación de reglamentos y normas que fomente el desarrollo tecnológico, además de la generación de conflictos dados la competencia por el suelo entre proyectos mineros y solares en el norte del país, propiciados por la existencia de una política ambigua en este sentido por parte del Ministerio de Bienes Nacionales.

Otra dificultad para el desarrollo más rápido de la tecnología es el poco acceso a financiamiento tanto en el ámbito de proyectos específicos como para la creación de centros de investigación de clase mundial. En este sentido, las garantías y excesiva documentación solicitados por la banca nacional dificultan enormemente la bancarización de proyectos solares.

Otras barreras que se mencionan frecuentemente en los estudios que se han desarrollado en Chile hasta el momento tienen que ver con los débiles vínculos entre la universidad y la industria y el desconocimiento de los requerimientos técnicos que aseguren la estabilidad del sistema eléctrico. Además, la no consideración de las externalidades ambientales en el modelo de precios y la centralización de la toma de decisiones en la industria de la generación eléctrica no permiten incentivar o relevar las ventajas de la tecnología solar frente a tecnologías intensivas en carbono.

## **5.3 Ventajas y oportunidades**

Las principales oportunidades que se visualizan actualmente son las condiciones naturales de radiación de Chile y el fomento del Estado al desarrollo de la industria solar.

El fomento de una industria solar que capture valor en el norte de Chile se ve favorecido por la oportunidad de emplazar proyectos de gran escala, que alimenten con generación eléctrica a partir de energía solar en el SING, al país a partir de la interconexión del sistema eléctrico (SING-SIC) y como un polo exportador de energía a los países limítrofes.

Dentro de las oportunidades más relevantes que existen se plantea interesante la posibilidad de utilizar las condiciones habilitantes y ventajas que ya existen en la zona norte. Ello incluye el potenciamiento de la investigación y desarrollo tecnológico nacional a partir de la Plataforma Solar del Desierto de Atacama como un eje estructurante del desarrollo de I+D tecnológico nacional en torno a la industria solar. A partir de ello es posible desarrollar alianzas entre universidades de la región y centros de investigación nacionales e internacionales y generar lazos de cooperación entre la industria y centros de investigación para la innovación en la industria.

También, en el aprovechamiento de los esfuerzos del Programa Estratégico de la Industria Solar para avanzar hacia la gestión de un entorno para la competitividad, es fundamental contar con grupos capaces de articular las relaciones entre los distintos estamentos relevantes de la industria (gobierno, sociedad civil, academia, industria, etc.) y que esta función sea desarrollada de manera permanente. Existen instituciones que se encuentran trabajando en esta línea como CREO Antofagasta, la Universidad Católica del norte, el Consejo Regional para la Competitividad, entre otros; y que sería importante potenciar.

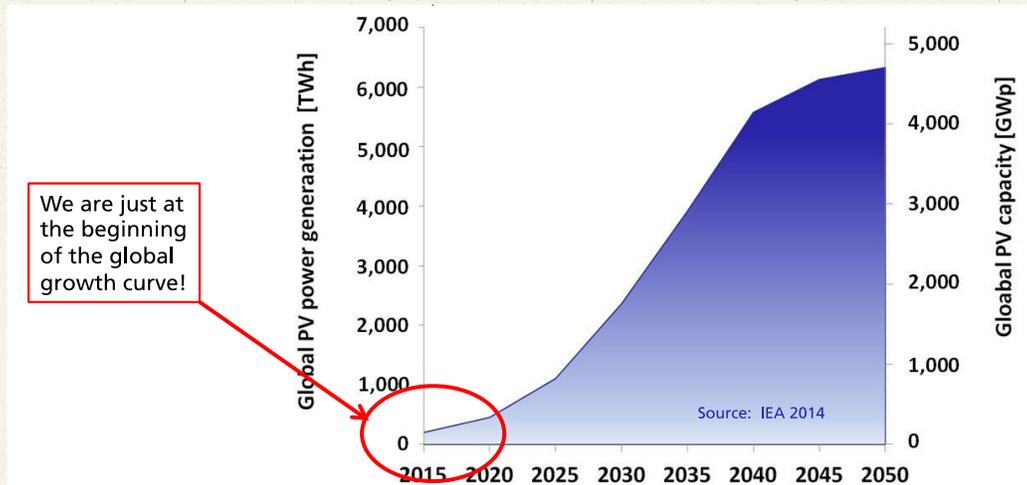
Además, el fortalecimiento de la institucionalidad de la industria solar, principalmente en la zona norte del país, donde el Gobierno Regional u otra institución gubernamental juegue un importante rol de liderazgo y que aglutine masa crítica de investigadores a nivel nacional (como SERC-Chile o ISE Fraunhofer), con el fin de jugar un rol técnico frente a instituciones de gobierno nacionales y regionales, desarrollar lineamientos estratégicos de mediano y largo plazo para consolidar las líneas de acción del programa solar, identificar necesidades de la industria y propuestas relacionadas y formular líneas de acción y de proyectos de desarrollo para potenciar la industria nacional.

También existe una oportunidad muy relevante a partir de la demanda de energía a nivel industrial en Chile y en particular en el norte del país. En este sentido, la proyección estratégica de crecimiento de la demanda por calor y electricidad vinculado al desarrollo minero y de industrias asociadas en la región norte del país puede ser un impulsor muy importante de la demanda por energía solar. A esto se pueden sumar oportunidades en desalación para grandes proyectos, principalmente mineros, y almacenamiento de energía como complemento al desarrollo de obras de infraestructura de agua y respaldo energético.

Relacionado con lo anterior, se visualiza el potencial crecimiento del consumo de energía de la población debido al aumento del ingreso per cápita de la población, además de proyectos de ciudades solares como los propuestos en la Agenda de Energía. Ello puede permitir aumentar los eslabonamientos hacia atrás a la industria proveedora de servicios de desarrollo e instalación y la importación o eventual manufactura de equipos. Desde el punto de vista regulatorio, las legislaciones asociadas a generación distribuida, como el net billing u otras, pueden servir de impulso para hacer más atractivo este tipo de proyectos.

Otra oportunidad que se visualiza como fundamental es el crecimiento del mercado FV a nivel mundial (figura siguiente), lo que entrega opciones para que la industria nacional busque espacios en el sistema de valor del desarrollo solar, para convertirse en un productor de bienes y/o

servicios relevantes para aumentar la captura de valor a nivel nacional y no solo ser un importador de tecnología y usuario de empresas extranjeras.



**Figura 26 Crecimiento del mercado FV**  
Fuente: IEA, 2014

En este sentido, si bien es poco atractivo el desarrollo de una industria de manufactura nacional por la amplia disponibilidad de equipos importados a precios muy competitivos, diversos estudios visualizan oportunidades para el país y la región en el desarrollo de elementos auxiliares y componentes. Por ejemplo, un estudio auspiciado por ISE Fraunhofer evalúa la posibilidad de fabricar de manera local componentes para plantas fresnel (por ejemplo los sistemas de tubería y acumuladores), también existe una oportunidad asociada al potencial de suministro de materias primas: 1ra Generación, Si cristalino); 2da Generación, ThinFilm a-Si, CdTe, CIGS/CIS y 3ra Generación Orgánico/Tinta Sensible.

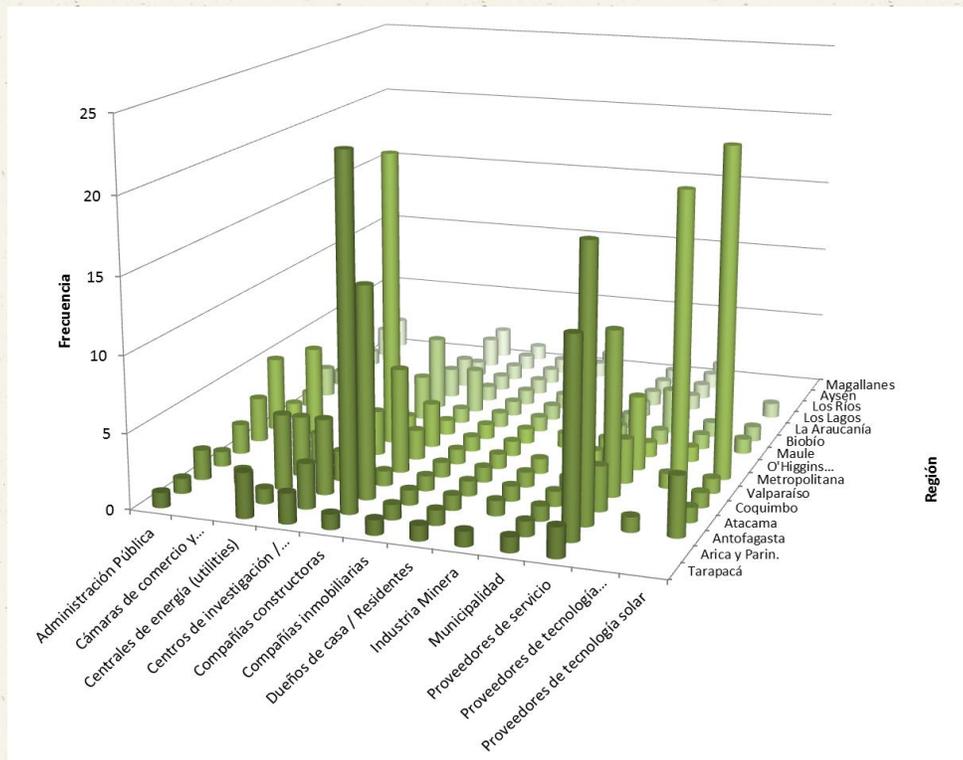
Por último, asociado a la manufactura de equipos, existen oportunidades de desarrollo asociados a la generación de información y generación de prototipos para las tecnologías CSP y FV en condiciones de alta radiación y edafoclimáticas características de la región. Estas actividades son parte de los objetivos de la Plataforma Solar y cuentan con condiciones de financiamiento de la mano de instrumentos públicos de fomento tales como Innova de CORFO, FONDEF de CONICYT y FIC regional.

Por otra parte, el desarrollo de empresas de servicios conexos y relacionados a la industria solar es otra componente importante para la mayor captura de valor a nivel nacional. Como se observa en la figura siguiente, existe una concentración de empresas constructoras y de servicios en 2 ó 3 regiones del país, lo cual es claramente insuficiente para aspirar al desarrollo de una industria de clase mundial y que pueda prestar apoyo al desarrollo explosivo de las tecnologías solares que se espera. Existen oportunidades para el desarrollo de servicios de:

- Fabricante de tuberías de acero.
- Servicio de movimiento de tierra, obras civiles e instalaciones varias.
- Estudios de interconexión al sistema de transmisión.
- Servicio de instalación de líneas eléctricas, Subestación, Tap-Off, etc.

- Servicio de puesta en marcha, tramitaciones para venta en mercado spot.
- Provisión de insumos y recursos como válvulas, intercambiadores de calor, bombas, transformadores, generadores, controladores, fusibles - protecciones, ferretería eléctrica, software etc.
- Montaje, ingeniería, mantención, inspección técnica de obras.

Estas oportunidades pueden ser aprovechadas por empresas existentes y operando en la región, como por nuevas empresas que deseen instalarse, sin la necesidad de alianzas con empresas extranjeras, como se realiza actualmente.



**Figura 27 Sociograma actores industria solar por región**  
**Fuente: (Centro de Energía, 2015)**

El horizonte y declive potencial esperado de la minería, a partir del año 2030, puede jugar un rol complementario importante que potencie el desarrollo de la industria solar, a través de la reconversión de profesionales, uso de tecnologías y apoyo en la reducción de costos energéticos, que en la actualidad son uno de los costos más importantes de la industria minera. Esta es otra de las grandes oportunidades que puede aprovechar la industria y el país, de manera de reconvertir un sector y un territorio del país, anticipándose a cesantías y recesiones potenciales, frente a la incertidumbre de un sector tan importante como el cobre.

## 5.4 Secuencialidad

De acuerdo a los hitos del Programa Estratégico Solar liderado por CIFES, se proyecta contar con al menos un 10% del total del mercado tecnológico solar Sudamericano al año 2025. Como se aprecia en la figura siguiente, en ese año se espera lograr un precio competitivo de la energía que permita la diversificación productiva a nivel nacional.

A más largo plazo, en el horizonte al 2015, CIFES (2015) visualiza la energía solar como el principal recurso energético del país, que logra abastecer gran parte de sus requerimientos y que exporta energía a una matriz latinoamericana integrada. En el mismo sentido, con una visión más optimista el Solar Energy Research Center (SERC Chile) visualiza al 2033, que el 30% del consumo de energía eléctrica de Latinoamérica será satisfecho a partir de energía solar producida en Chile, lo que implica la instalación de más de 200.000 MW de potencia en base a energía solar en el norte de Chile a esa fecha.

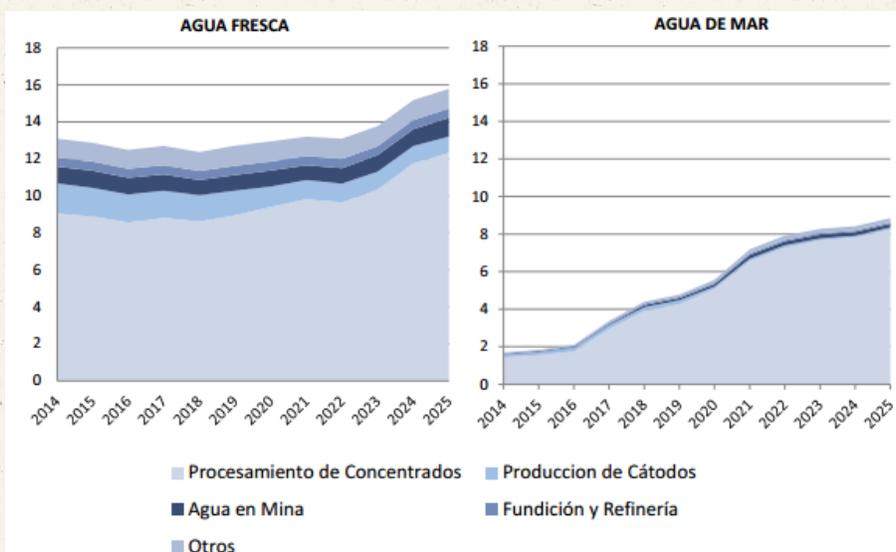


**Figura 28 Hitos del Programa Estratégico Solar**  
Fuente: CIFES (2015)

## 6. Desalación de agua

Esta medida de mitigación apunta al desarrollo de una industria de desalación de agua para usos industriales (principalmente mineros) y domiciliarios, a partir del uso de tecnologías para conversión del agua salada en agua potable y su impulsión a los centros de consumo. Considera el uso de tecnologías eficientes para la conversión y uso de energía solar para la desalación e impulsión del líquido desde la fuente hacia los centros de consumo, en particular las faenas mineras en la cordillera.

En Chile se espera un importante aumento de la capacidad en los próximos 10 años encauzado principalmente por el crecimiento de la demanda de agua desalada por parte de la industria minera del cobre, aunque también por el consumo de otras industrias y el residencial.



**Figura 29 Proyección de demanda de agua de la minería del cobre en Chile**  
Fuente: (COCHILCO, 2014)

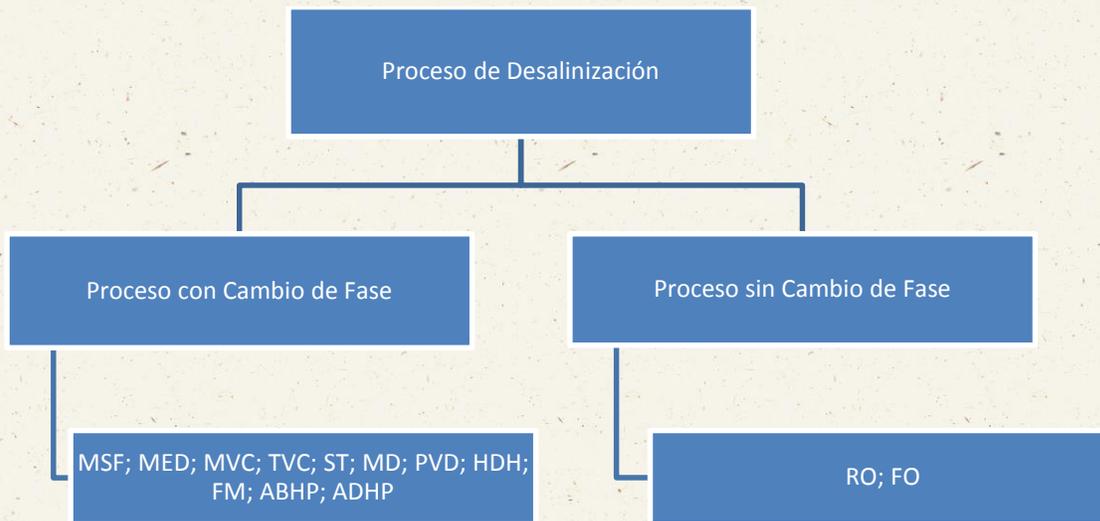
Como se aprecia en la figura anterior y como se proyectó en la Fase 2 del proyecto MAPS Chile, se requerirán más de 15 m³/s al 2030 para la minería, lo que equivale a 7 TWh de consumo eléctrico, considerando la impulsión del líquido a un promedio de 3.000 m de altura.

En lo que respecta al costo, más de la mitad del valor para producir agua desalada se explica por electricidad, lo que aumenta de manera más importante si es que se requiere impulsar el agua a los proyectos que se encuentran en la cordillera. En efecto, el costo de agua desalada en la costa corresponde a aproximadamente US\$ 1 por m<sup>3</sup>, mientras que en el caso de mineras se podría alcanzar entre US\$ 8 y US\$ 10 por m<sup>3</sup> en altura<sup>18</sup>.

<sup>18</sup> 300 – 2.000 CLP el m<sup>3</sup> para usuarios en distintas zonas de Chile

## 6.1 Descripción

En la actualidad se utilizan diversas tecnologías para desalinizar agua de mar. Dichas tecnologías están básicamente divididas en dos categorías generales: procesos basados en cambios de fase (térmicos) y procesos que no involucran cambios de fase (por membrana). De acuerdo a (Mabrouk & Fath, 2015) la desalación térmica abarca un 33% del mercado mundial, mientras el 67% es cubierto por sistemas de osmosis inversa<sup>19</sup>. Un esquema para los distintos tipos de separación se presenta a continuación.



**Figura 30 Esquema de procesos de desalación**  
Fuente: Elaboración propia

En el caso de la desalinización térmica, este es un proceso en el cual se convierte el agua salada en vapor de agua. Este vapor, está generalmente libre de sales, minerales y otros contaminantes que se encuentran en el agua de mar. Existen muchos métodos diferentes para realizar este tipo de desalinización. La calidad del agua a producir, y la cantidad de calor requerido dependerán del sistema diseñado (Tonner, 2008).

Actualmente, los principales procesos utilizados en la desalación térmica son la Destilación flash multi-etapas (Multi-Stage Flash, MSF) y la Destilación multi-efecto (Multi-effect Distillation, MED). Pese a que los procesos anteriormente mencionados son los mayormente utilizados, existen otros como por ejemplo la destilación solar (solar still, ST), destilación al vacío (passive vacuum desalination, PVD), compresión térmica del vapor (thermal vapor compression, TVC), entre otras, así como también combinaciones de diferentes procesos.

<sup>19</sup> La osmosis inversa tiene una mayor capacidad debido a que consume comparativamente menos energía en el proceso de desalación que las tecnologías basadas en el cambio de fase.

### 6.1.1 Tendencias internacionales relevantes

Según datos de la Asociación Internacional de Desalación (IDA), la nueva capacidad de desalación al año 2013 aumentó en un 50% respecto del año 2012, con una expansión de 6 millones de metros cúbicos por día ( $m^3/día$ ), en comparación con 4 millones de  $m^3/día$  el año 2012.

Una proporción cada vez mayor de este crecimiento es traccionado por el sector industrial. Desde 2010, el 45% de las nuevas plantas de desalinización ha sido requerido por usuarios industriales, como las centrales eléctricas y refinerías, mientras que en los cuatro años anteriores, sólo el 27% de la nueva capacidad fue demandada por ellos.

Las siguientes figuras muestran el vertiginoso crecimiento de la capacidad en el último decenio. Hoy son desalados sobre 80 millones de  $m^3/día$  en más de 17.000 plantas de desalación en el mundo. Se espera que para el año 2030 se desalen entre 140 – 160 millones de  $m^3/día$  a nivel mundial (Opitz, 2014).

Esta tecnología es utilizada en más de 150 países, siendo la mayor demanda de agua desalada en los países del golfo pérsico, en donde Arabia Saudita cuenta con la mayor capacidad instalada a nivel mundial.

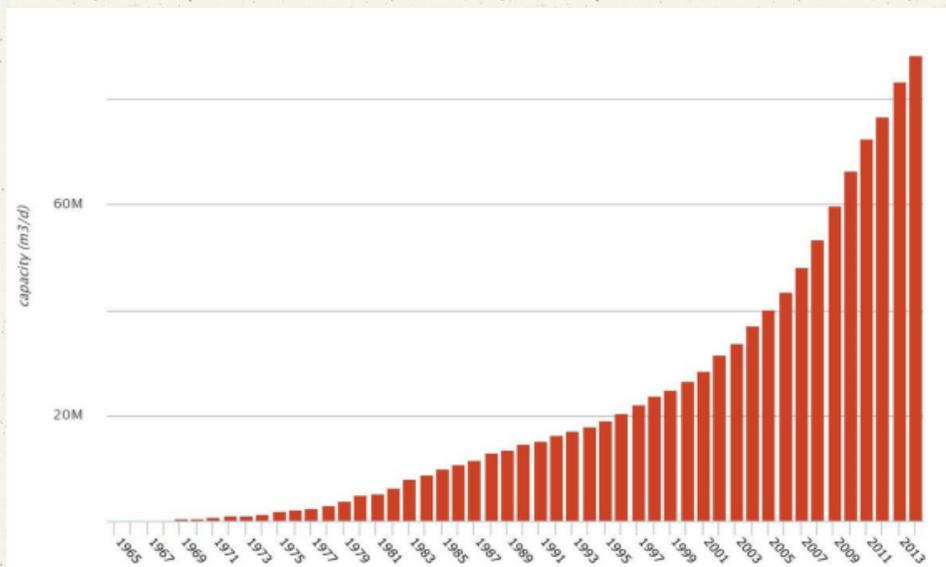
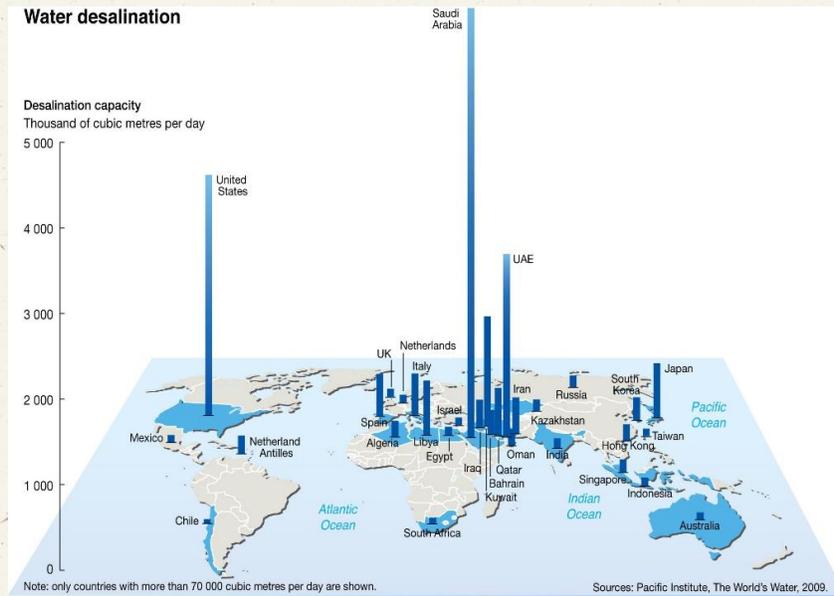


Figura 31 Capacidad mundial de desalación.

Fuente: (Opitz, 2014)

Las aplicaciones industriales de desalinización crecieron a 7,6 millones de  $m^3/d$  para el período 2010-2013 en comparación con los 5,9 millones de  $m^3/d$  para el período 2006-2009. De los 7,6 millones de  $m^3/d$ , la industria de energía representó el 16%; petróleo y gas, el 12% (frente al 7% a partir de 2006-2009); minería y metales, 11%; refinación y químicos, el 11%. Otras aplicaciones industriales representaron el 50% restante.



**Figura 32 Capacidad de desalación en el mundo**  
Fuente: Pacific Institute, The World Water 2009

En el caso de los procesos de desalación térmica, en los que se busca la sinergia para ser producidos con energía solar, a continuación se describen brevemente y se muestra su estado de desarrollo.

### Proceso Destilación flash multi-etapas (MSF)

El objeto de este proceso es destilar agua de mar y condensar el vapor obtenido, recuperando el calor latente para calentar más agua de mar, que posteriormente también se irá evaporando.

Este método se basa en el principio de que al reducir abruptamente la presión del agua de mar por debajo de la presión de equilibrio, ocurre una evaporación súbita (flash). Esto normalmente se logra introduciendo el agua de mar, previamente calentada a temperatura de ebullición en una cámara a través de un orificio reduciendo su presión.

La destilación mediante el proceso de MSF es una tecnología probada y madura. Es ventajosa en rangos de capacidad grandes y donde se dispone de energía térmica en forma de vapor de baja presión. También es utilizada en plantas de generación eléctrica con ciclos térmicos de vapor, siendo en estos casos plantas de uso dual (generación de electricidad y agua desalinizada). La fracción de recuperación de estas plantas va desde 12 al 20% (más baja que otros procesos) (Ramilo, Gómez, & Coppari, 2003).

### Proceso Destilación multi-efecto (MED)

La destilación multi-efecto (MED) utiliza el mismo principio que el proceso MSF. La principal diferencia entre el proceso MED y el MSF radica en la forma en que se lleva a cabo la evaporación. En el proceso MED el agua de mar, precalentada en la etapa de condensación del vapor generado en el último efecto, ingresa al primer efecto donde se eleva su temperatura al punto de ebullición con vapor de servicio.

La principal ventaja del proceso MED es que permite alcanzar un GOR (gain output ratio, que es la relación entre la producción de agua y el consumo de vapor), significativamente mayor que el proceso de MSF para igual temperatura del vapor. La producción de agua desalinizada producida está en torno al 30-40% (Ramilo, Gómez, & Coppari, 2003).

### Unidades de desalación solar

Los procesos de desalación antes mencionados pueden combinarse con sistemas solares térmicos para suministrar la energía necesaria en el proceso. Este concepto se trabaja desde 1988 en la Plataforma Solar de Almería, realizando ya dos fases. La Fase 1 tuvo como objetivo específico estudiar la fiabilidad y viabilidad técnica de la incorporación de la energía solar térmica en los procesos de desalación de agua de mar, mientras que la Fase 2 tuvo como objetivo la implementación de mejoras específicas en el sistema instalado en la PSA durante la primera fase, con objeto de hacerlo más competitivo frente a los sistemas de desalación convencionales (Alarcón, Blanco, Zarza, Malato, & León, 2002).

Hoy se cuenta con una planta piloto de destilación multi-efecto con 14 etapas (capacidad de producción de 72 [m<sup>3</sup>/día], y consumo térmico de 64 [kWh/m<sup>3</sup>]) (CIEMAT, 2015). El diagrama conceptual del proceso es presentado en la figura siguiente.

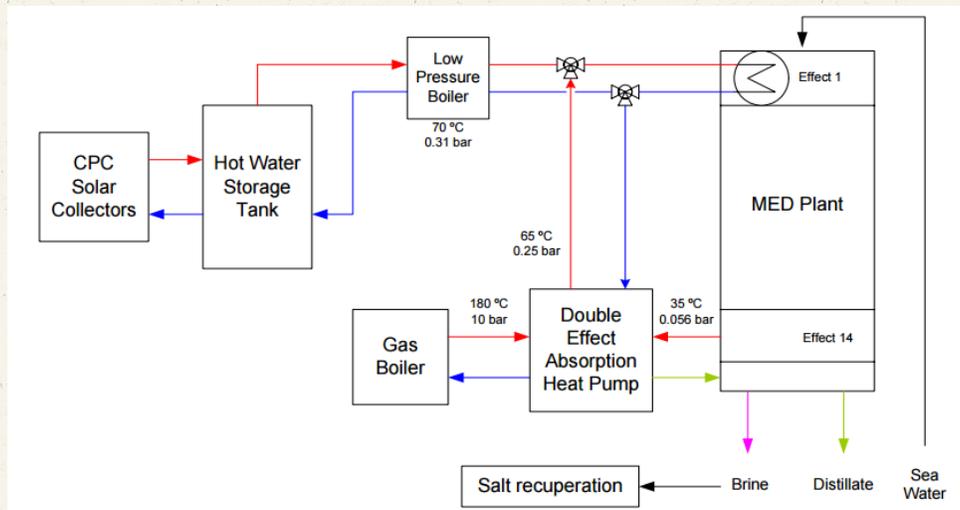


Figura 33 Diagrama conceptual del sistema propuesto en el Proyecto AQUASOL  
Fuente: (Alarcón, Blanco, Zarza, Malato, & León, 2002)

## 6.2 Barreras identificadas

Las principales dificultades de la desalación provienen de los impactos medioambientales que se pudiesen generar. Estos incluyen los impactos del bombeo de agua sobre la vida acuática, impactos del flujo de residuos salínicos concentrados, y el aumento del consumo energético necesario para la operación de las plantas, pudiendo provocar un incremento en emisiones locales y globales dependiendo de la fuente energética (CleanTechWiki: A clean technology platform, 2015).

El costo de los sistemas puede representar una barrera adicional, si bien en los últimos años estos han caído de forma importante, requieren de un capital importante. En particular, la desalación térmica se encuentra en proceso de pilotaje en la mayoría de sus tecnologías, lo que hace que su costo sea aún mayor.

Por último, una de las dificultades más relevantes que podría acarrear el desarrollo de esta industria es la regulación insuficiente, la que propicia un estado de incertidumbre que puede limitar el desarrollo de nuevos proyectos y además puede provocar efectos en la distribución territorial de los proyectos y en sus efectos en la actividad productiva en el borde marino.

De esta forma, la futura construcción de plantas desaladoras en el borde costero plantea un desafío para la autoridad relacionada con el ordenamiento territorial y de concesión de los recursos. Si bien el recurso marino es un bien nacional de uso público, este puede ser sujeto a una concesión marítima de hasta 50 años, la que puede ser renovada. Luego, si este proceso de adjudicación del recurso se lleva a cabo de manera indiscriminada y sin una gestión territorial adecuada, puede provocar dificultades en el borde costero.

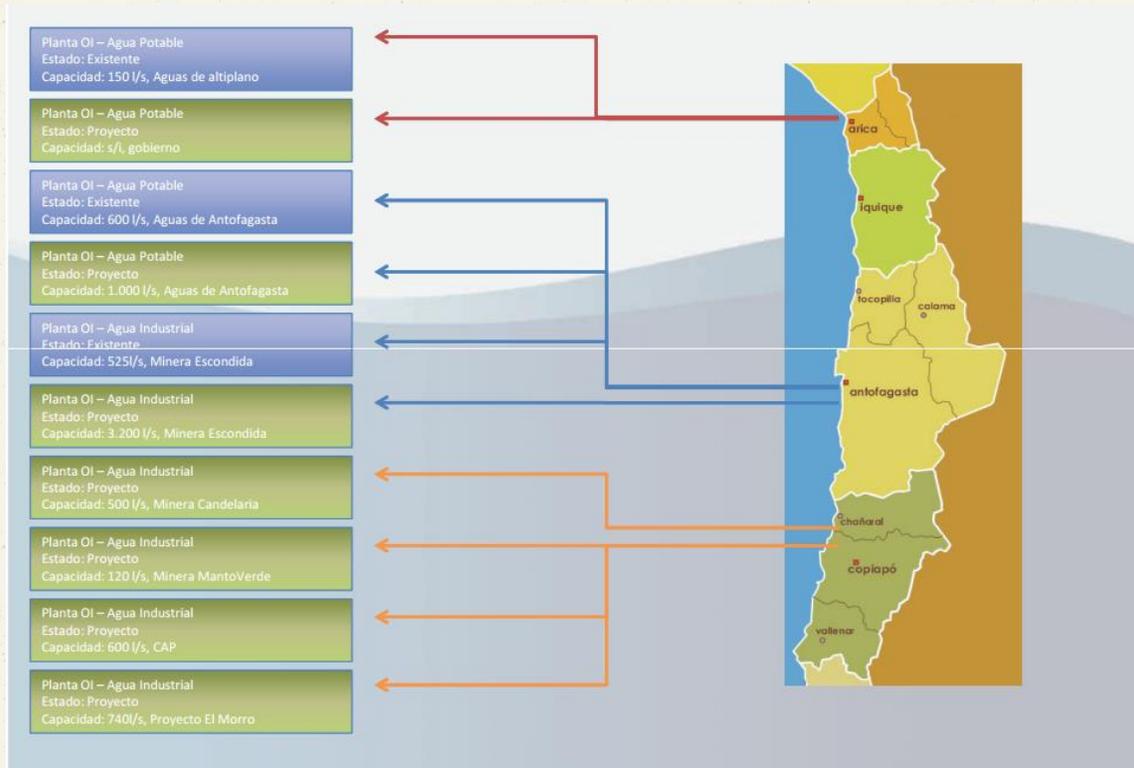
### **6.3 Ventajas y oportunidades**

La disminución de la disponibilidad de agua en algunas regiones del mundo, en conjunto con los efectos del cambio climático, propicia el desarrollo de nuevos proyectos de desalación. Paralelamente el crecimiento de la demanda de agua a nivel mundial ya sea para usos industriales o de consumo humano, es un impulso adicional para el desarrollo de nuevas plantas en donde se ubiquen condiciones naturales favorables para estos proyectos.

El desarrollo de la industria solar, complementado con la minería en el norte del país, abre una oportunidad conjunta de desarrollo y sinergias tanto para la producción del recurso, como para su uso en el respaldo de la generación de energía solar usando centrales hidráulicas de bombeo, equivalente a grandes “baterías de agua” que permiten almacenar energía de forma económica. Lo anterior permite transformar la energía solar en una fuente de electricidad disponible las 24 horas de día, los 7 días de la semana. Para ello, el Desierto de Atacama cuenta con la mejor geografía del mundo para centrales hidráulicas de bombeo: un farellón costero de gran altura, muy próximo al océano, y con concavidades naturales en su parte superior que permiten almacenar agua sin la necesidad de construir represas (Valhalla, 2015).

### **6.4 Secuencialidad**

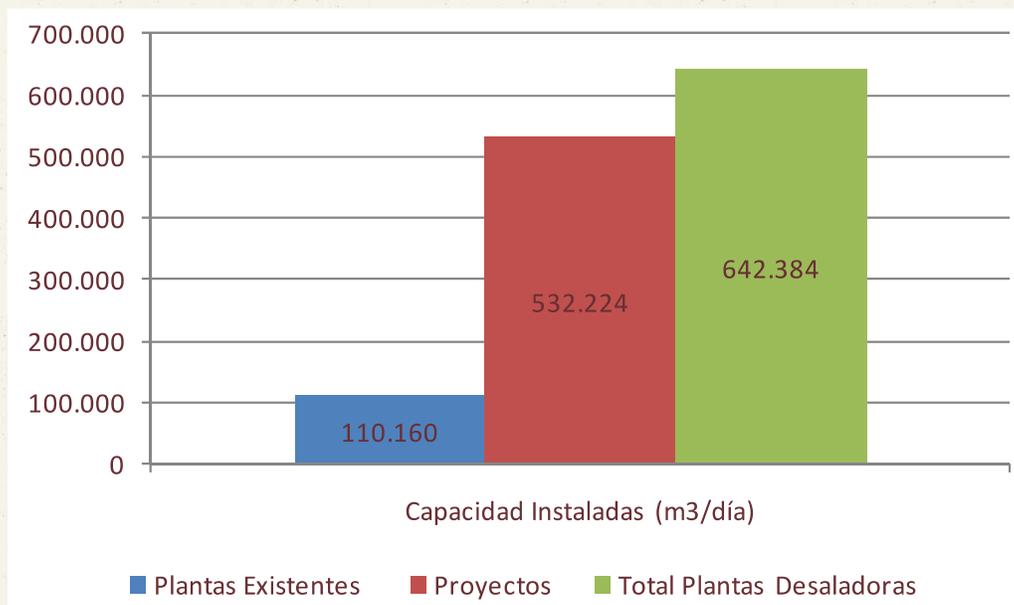
Es complejo definir un horizonte de tiempo para el desarrollo de esta tecnología, en particular considerando la sinergia que puede existir con la energía solar y los proyectos mineros futuros. Sin embargo se puede establecer que la capacidad instalada que se espera al año 2020 es de cerca de 20 plantas (existen 10 actualmente). Esto equivale a una producción de más de 500.000 m<sup>3</sup>/día, principalmente con plantas de Osmosis Inversa.



**Figura 34 Desalación en el norte de Chile**

Fuente: (González, 2012)

Según datos más recientes de COCHILCO, al año 2025, la capacidad de desalación en el país debiera ser del orden de 3.700 m<sup>3</sup>/s.



**Figura 35 Capacidad instalada actual y futura de proyectos de desalación en el norte de Chile**

Fuente: (González, 2012)

## 7. Construcción Sustentable

Esta medida de mitigación se enmarca dentro de la categoría Nuevos enfoques y desarrollos productivos y consiste en el desarrollo de la industria de la construcción de edificaciones, en todos sus eslabones, incorporando sustentabilidad como factor adicional de competitividad, para optimizar el valor del activo inmobiliario, reducir costos de operación, acceso a edificaciones de mejor estándar y generar conocimiento asociado para un mercado global, fortaleciendo la cadena de valor desde una perspectiva holística, principalmente a través de la coordinación y articulación de actores, provisión de bienes públicos, generación de innovación y mejoras regulatorias, propiciando a la vez un cambio cultural en torno al valor de la sustentabilidad.

La base para la definición de este lineamiento es la primera versión de la Estrategia Nacional de Construcción Sustentable (MINVU, 2013) y el Programa Estratégico “Productividad y Construcción Sustentable” (CORFO, 2014). La primera fue elaborada a partir del Convenio Interministerial<sup>20</sup> de Construcción Sustentable, en 2013 y tiene como propósito ser una herramienta orientadora que establezca los principales lineamientos para impulsar la integración de criterios de sustentabilidad en el área de la construcción en Chile.

De acuerdo a la estrategia, los criterios de sustentabilidad comprenden una serie de variables que pueden presentar las edificaciones e infraestructuras cuya implementación conjunta permite erigir una construcción sustentable, durante todo el ciclo de vida de las mismas. Las variables son las siguientes:

1. Energía. El conjunto de acciones o consideraciones que permiten optimizar la relación entre la cantidad de energía consumida y los productos o servicios finales obtenidos.
2. Agua. Implementación de medidas que se pueden adoptar para reducir el consumo de agua en las construcciones y prevenir la contaminación del recurso.
3. Residuos. Utilización de medios de recolección, transporte, tratamiento o disposición de material de desecho, destinadas a mejorar su minimización, reutilización o reciclaje.
4. Salud y bienestar. Incorporación de soluciones de tecnología y diseño que, en su conjunto, permiten desarrollar ambientes saludables al interior de las construcciones, propendiendo al confort ambiental y reduciendo los riesgos para la salud.
5. Manejo/operación. Se refiere a los modos en que los usuarios pueden operar las construcciones de forma eficiente, dándoles el mejor uso a las instalaciones y administrándolas de manera considerada con el medio ambiente y la sociedad.

La estrategia se constituye de cuatro ejes estratégicos que agrupan y desarrollan los asuntos prioritarios para el avance de la construcción sustentable en nuestro país. Estos son:

- Hábitat y bienestar
- Innovación y competitividad
- Educación
- Gobernanza

---

<sup>20</sup> Ministerio de Obras Públicas (MOP), Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), Ministerio de Energía (Minenergía) y Ministerio del Medio Ambiente (MMA).

## 7.1 Descripción

A nivel nacional, el sector de la industria de la construcción representa un 8% del PIB, un 9% del empleo generado y un 33% de los residuos sólidos producidos en el país.



**Figura 36 Algunos datos relevantes de la industria de la construcción**  
Fuente: (CORFO, 2014)

Entre los años 2003 y 2010, de acuerdo a datos de la Cámara Chilena de la Construcción, el sector fue responsable del 55% de la inversión total del país y comprendía del orden de 74.000 empresas dedicadas a la construcción al año 2010, de las cuales, un 57% correspondían a PYMES.

La Estrategia Nacional de Construcción Sustentable establece el Código de Construcción Sustentable para Viviendas, que sirve como guía de buenas prácticas para mejorar el desempeño ambiental de las viviendas, utilizando criterios objetivos y verificables. Es un Código nacional para ser utilizado en el diseño, construcción y operación de viviendas nuevas o usadas y para promover la mejora continua en la construcción sustentable.

El Código cubre siete categorías principales de sustentabilidad que son los ejes principales para el desarrollo de una industria de construcción sustentable:

- Salud y bienestar
- Energía
- Agua
- Entorno inmediato
- Impacto ambiental
- Residuos
- Materiales

De acuerdo a (CORFO, 2014) se entiende por Productividad y Construcción Sustentable, el aumento de eficiencia (trabajo, económica, materiales, energía y competencias del capital humano), agregando valor al generar edificaciones que mejoran la calidad de vida de las personas, equilibrando los aspectos sociales, económicos y medioambientales a lo largo de todo el ciclo de vida.

Su alcance es la cadena de valor de la edificación, integrando bienes y servicios, en todas las etapas desde suministro de materiales hasta el fin de la vida útil (demolición), para generar valor a partir de la mejora en eficiencia de los procesos, del desarrollo tecnológico, industrialización, estandarización, plataformas de gestión de proyectos, fortalecimiento del capital humano y educación de los clientes.

De esta forma, la propuesta de valor que considera el programa estratégico y que sirve de base a la definición de la medida para un desarrollo sustentable del sector construcción, considera los siguientes conceptos:

- Mejora de la productividad por optimización y eficiencia de procesos, industrialización, estandarización, uso de materiales inteligentes, aplicación de modelos de negocios innovadores, optimización relación precio-calidad.
- Aumento del market share de inmuebles sustentables como atributo diferenciador, optimizando uso de recursos y calidad.
- Generación de conocimiento para bienes y servicios más sofisticados.
- Desarrollo de proveedores con mayor conocimiento y aprovechamiento de los recursos naturales chilenos (madera y otros).

### 7.1.1 Tendencias internacionales relevantes

La construcción sustentable ha tenido un crecimiento sostenido en los últimos años. Si en el año 2009 un 37% de las compañías constructoras, a nivel mundial, poseían dentro de su cartera un 15% o más de proyectos sustentables, se espera que para el año 2015 este número llegue a un 88%, y un 51% de las compañías posean más de 60% de su cartera en proyectos sustentables (McGraw Hill, 2013). En la figura siguiente se puede apreciar esta evolución en el periodo.

Como se aprecia en la figura posterior, donde se presentan los países con mayor cantidad de compañías intensivas en proyectos de construcción sustentable, el sector es liderado por Singapur y los Emiratos Arabes Unidos.

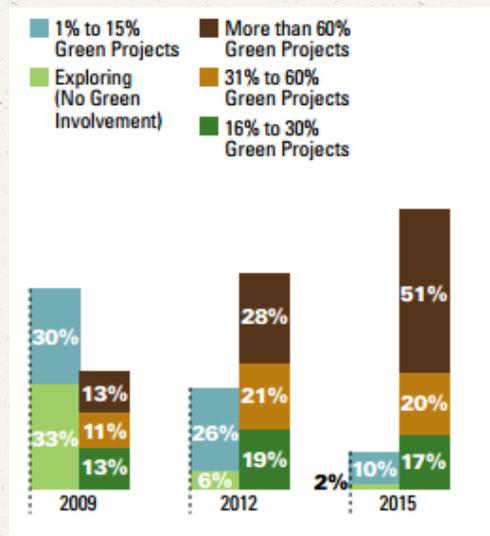
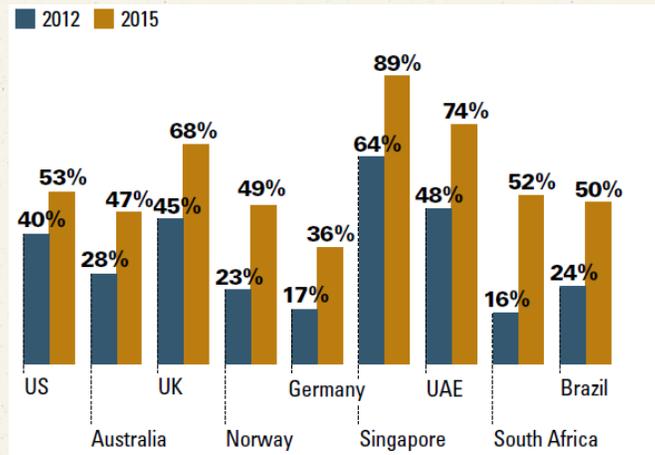


Figura 37 Porcentaje de compañías con proyectos de construcción sustentable en el mundo, 2009 -2015 (esperado)

Fuente: (McGraw Hill, 2013)



**Figura 38 Porcentaje de compañías por país con más de un 60% de proyectos de construcción sustentable, 2009 -2015(esperado)**  
**Fuente: (McGraw Hill, 2013)**

Si bien a nivel internacional la participación de la edificación sostenible alcanza un 40% del mercado, en Chile esta cifra sólo alcanzó un 1,5% el año 2012.

Los países desarrollados han tomado la sustentabilidad como un atributo diferenciador y de valor agregado en distintos segmentos de mercado, principalmente a través de requerimientos obligatorios para viviendas existentes y nuevos proyectos de edificación.

La forma de estimular esta industria, por parte de estos países se basa en distintos mecanismos, entre los cuales se encuentran los incentivos financieros, que si bien no pesan mucho en la decisión de construir verde, ellos han sido relevantes en Singapur y Brasil (McGraw Hill, 2013).

De la misma forma, las acciones del gobierno pueden ayudar a impulsar la adopción de la edificación sustentable en diferentes partes del mundo. De hecho, el 63% de todas las empresas a través de casi todas las regiones informan que sus gobiernos tienen programas que fomentan edificios verdes o aspectos de la construcción verde (como metas de eficiencia energética). La excepción es Brasil, donde sólo un poco más de un tercio de las empresas informan de tales políticas, en comparación con, al menos, un 50% en todos los demás países (McGraw Hill, 2013).

Las políticas más reportadas en el mundo corresponden a metas específicas de eficiencia energética. También se menciona la existencia de políticas gubernamentales de construcción verde, la certificación obligatoria de edificios gubernamentales, metas de eficiencia en agua, certificación obligatoria para otros tipos de construcción no gubernamentales, entre otros (McGraw Hill, 2013).

## 7.2 Barreras identificadas

El crecimiento demográfico y las crecientes tasas de urbanización han generado externalidades ambientales negativas derivadas, principalmente, de la presión que ejercen las construcciones sobre el entorno natural. A medida que las ciudades aumentan su población y extensión territorial las actividades relacionadas con la construcción consumen más recursos, tales como materias

primas, agua y energía. En este sentido, el desafío es mantener un equilibrio entre la protección y conservación ambiental y la utilización de aquellos bienes que provee el medioambiente (MINVU, 2013).

En esencia las principales barreras al crecimiento de la actividad sustentable en la construcción vienen dadas por los costos. Ya sea real o percibido, los altos costos iniciales para los esfuerzos de construcción verde son vistos como el obstáculo más significativo al desarrollo de proyectos. De hecho, la percepción de casi todas las otras barreras se hizo significativamente menos importante entre los años 2008 y 2012 (McGraw Hill, 2013).

En la misma línea de los costos, la ausencia de programas o incentivos por parte de la entidad política correspondiente, que promuevan o faciliten las inversiones, ya sea a través de subsidios, beneficios tributarios u otros instrumentos, se presenta como otra barrera asociada a los costos de inversión requeridos (McGraw Hill, 2013).

Otra barrera relevante está asociada a la falta de información respecto de los beneficios medioambientales y económicos asociados a la eficiencia de estas edificaciones. La información y educación en la materia, concentrando esfuerzos en valorizar los futuros ahorros producidos por un menor gasto operacional, expandiría la demanda generando más incentivos para las compañías en invertir en construcción sustentable.

Por lo tanto, le corresponde a la industria invertir en el crecimiento verde para ayudar de manera más eficaz a impulsar el mercado. Esto requerirá de mejores medidas y seguimiento del rendimiento, y los operadores de las instalaciones tendrán que involucrarse y educarse para maximizar el rendimiento de los edificios verdes (UNIDO, 2011).

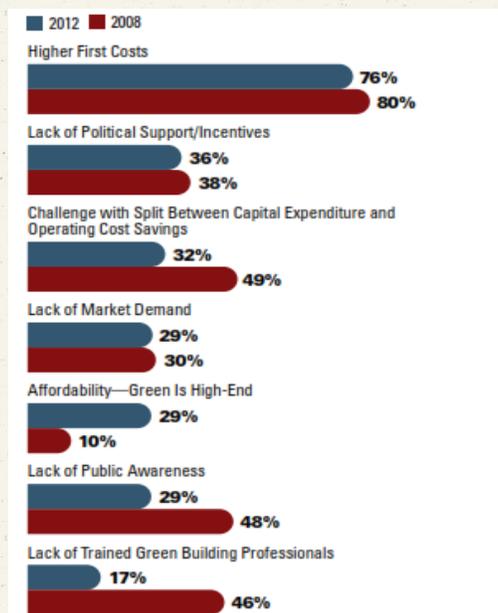


Figura 39 Barreras percibidas por las empresas al incremento de la actividad de construcción sustentable. Fuente: (McGraw Hill, 2013)

### 7.3 Ventajas y oportunidades

El sector construcción y la industria nacional poseen varias ventajas que hacen pensar en un desarrollo efectivo de esta industria. En primer lugar, el país posee una importante capacidad de desarrollo de aplicaciones TIC's a la generación de soluciones para gestión integrada de proyectos, en distintos ámbitos industriales, lo cual está siendo rápidamente aplicado a esta industria. De la misma manera, el usuario de tecnologías posee una rápida adopción de TIC's, como las que se ofrecen en este mercado.

Además, Chile es líder en sustentabilidad en Latinoamérica lo que le genera un posicionamiento fundamental en la región, sumado al interés creciente por este tipo de tecnologías.

Por último, diversas industrias poseen un know-how adquirido en la exportación de servicios sofisticados, como la minería, consultorías de diversa índole, TIC's, entre otros. Ello es una base importante para el desarrollo de los servicios de construcción sustentable que debieran surgir del desarrollo de esta industria y potenciar la diversificación productiva del país.

Los programas de gobierno son uno de los principales catalizadores para nuevos proyectos de construcción sustentable. Entre los diversos programas los más recurrentes alrededor del mundo son las metas de eficiencia energética de las instalaciones, seguido de lejos por programas de certificación y rendimiento energético de las edificaciones.

Otras regulaciones que promueven la construcción sustentable son requerimientos de eficiencia y gestión de recursos para edificaciones nuevas, objetivos de eficiencia del recurso hídrico e incentivos tributarios entre otros.

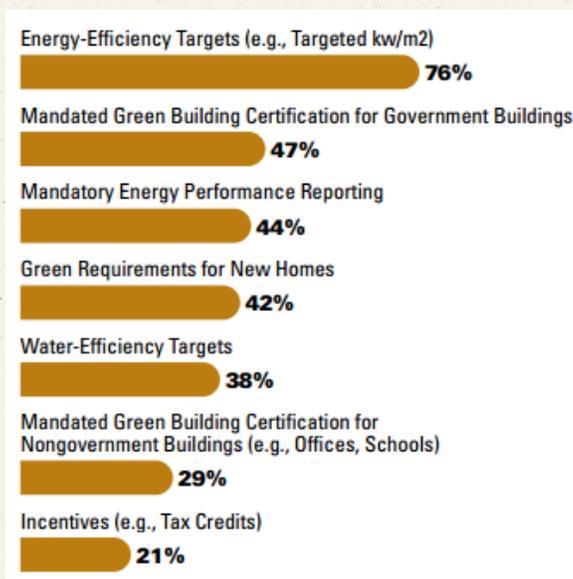


Figura 40 Políticas utilizadas para promover la construcción sustentable, porcentaje de las compañías sujetas a estas políticas.

Fuente: (McGraw Hill, 2013)

Sin embargo en la actualidad el crecimiento de este sector no es exclusivamente generado por políticas públicas del ente regulador, sino también por una mayor demanda del consumidor por

mejores estándares ambientales, generados desde una visión mas sustentable de la sociedad y desde la perspectiva del ahorro de recursos que implica la eficiencia de las edificaciones.

**Tabla 5: Principales factores que desencadenan nuevos proyectos de construcción sustentable, por país.**

	<b>US</b>	<b>Australia</b>	<b>Europe</b>	<b>UAE</b>	<b>Singapore</b>	<b>Brazil</b>	<b>South Africa</b>
<b>Top Reason</b>	Client Demand <b>41%</b>	Market Demand <b>37%</b>	Client Demand <b>39%</b>	Regulations <b>55%</b>	Regulations <b>41%</b>	Market Demand <b>52%</b>	Right Thing to Do <b>44%</b>
<b>Second</b>	Corporate Commitments <b>32%</b>	Client Demand and Lower Operating Costs <b>35%</b>	Market Demand <b>37%</b>	Client Demand <b>50%</b>	Client Demand and Corporate Commitments <b>35%</b>	Client Demand; Lower Operating Costs; Market Transformation; and Higher Building Value	Lower Operating Costs <b>42%</b>
<b>Third</b>	Market Demand and Lower Operating Costs <b>30%</b>	Corporate Commitments <b>31%</b>	Branding/Public Relations <b>34%</b>	Market Demand <b>32%</b>	Lower Operating Costs <b>31%</b>	Regulations	Regulations <b>34%</b>

Fuente: (McGraw Hill, 2013)

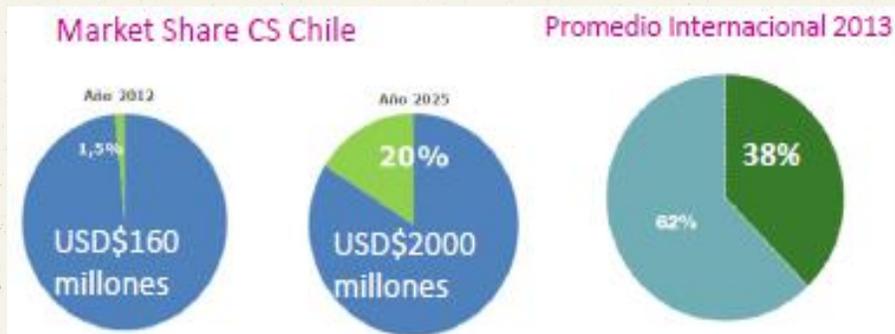
Otra línea de acción que facilita el desarrollo de proyectos es el modelo BIM-LEAN, una nueva herramienta y sistema de gestión integrado para proyectos de edificación. Tiene un enfoque de ciclo de vida, y se basa en una filosofía y un conjunto de principios que agregan valor mediante la creación de fiabilidad y la producción de resultados consistentes en la gestión de las día a día de las organizaciones y proyectos de construcción. Considerando además la eliminación de procesos y operaciones innecesarias.

La construcción sustentable puede aportar de forma importante a la disminución de emisiones contaminantes tanto globales como locales, generadas en cualquier etapa del ciclo de vida de una edificación o infraestructura. Asimismo, el contar con este tipo de infraestructuras podría facilitar el uso de medios de transportes saludables y respetuosos del medio ambiente; además de integrar en el diseño de construcciones de uso público el concepto de movilidad universal, procurando la disponibilidad de edificaciones e infraestructuras diseñadas para el uso de toda la población.

Por otra parte, la inclusión de criterios de sustentabilidad desde las etapas tempranas de la concepción del proyecto de diseño, se traducirá en que el elemento edificado tendrá un mejor comportamiento energético y ambiental en su etapa de operación y, por ende, retornos mayores desde el punto de vista del bienestar social y económico. A modo de ejemplo, una construcción ambientalmente eficiente que logra maximizar las características pasivas de la edificación, potencialmente requerirá menos recursos para su climatización mecánica, iluminación artificial y consumo de agua, logrando mejorar la calidad del ambiente interior y exterior (MINVU, 2013).

#### 7.4 Secuencialidad

De acuerdo al programa estratégico nacional de “Productividad y Construcción Sustentable” al año 2025 se pretende incrementar en un 20% la productividad operacional de la construcción de edificaciones y aumentar la participación de mercado de edificios sustentables a un 20% en el país. El market share al 2012 de edificios sustentables es de 1.5%.



**Figura 41 Market share actual y proyectado de construcción sustentable en Chile**  
Fuente: (CORFO, 2014)

El programa busca que Chile llegue a ser referente a nivel Latinoamericano en Productividad y Sustentabilidad en construcción de edificaciones, a través de la exportación de Servicios Expertos.

Algunas otras metas y expectativas generadas con el desarrollo de la Estrategia de Construcción Sustentable son (MINVU, 2013):

1. Edificaciones e infraestructura con consideraciones de sustentabilidad al año 2020.
2. Aportar, desde el sector comercial, público, residencial, (CPR) al compromiso de reducción del 12% del consumo energético (proyectado al año 2020).
3. Aportar, desde el sector de la construcción, a la reducción del 20% de gases efecto invernadero, tomando como base las emisiones proyectadas al año 2020.
4. Aportar, desde el sector de la construcción, a que un 10% de la energía generada sea por fuentes renovables no convencionales al año 2024.

## 8. Plataforma de servicios mineros

Esta medida de mitigación se enmarca en el escenario de disponer de una industria minera extractiva con menor aporte a la economía en el futuro, con lo cual sería importante contar con una industria fuerte de servicios que sea capaz de aportar ingresos en una situación futura en que se pudieran mantener los bajos precios del cobre, altos costos de la industria, la presencia de competidores con menores costos de producción, etc.

Luego, se espera lograr una transición hacia una industria de servicios más desarrollada como la que se planifica en el "Programa Alta Ley: de los recursos naturales al conocimiento". Este programa propicia el desarrollo de una industria exportadora de tecnologías y servicios intensivos en conocimiento (METS) para atender necesidades de la minería a nivel global y también de otras industrias. Ello se enmarca en el eje Minería Virtuosa de la iniciativa "Minería: Una Plataforma de Futuro para Chile" que busca fortalecer la competitividad y productividad y tiende a generar las condiciones para que emerja un ecosistema robusto de innovación (CNID, 2014).

Con la inversión privada que se materializó en la década de los noventa surgió la expectativa de que la gran minería fuera capaz de generar encadenamientos productivos, que dieran sustentabilidad a la economía del país más allá de la mera explotación de los recursos mineros. Al tratarse de una actividad extractiva de recursos no renovables, y ante la fuerte explotación privada

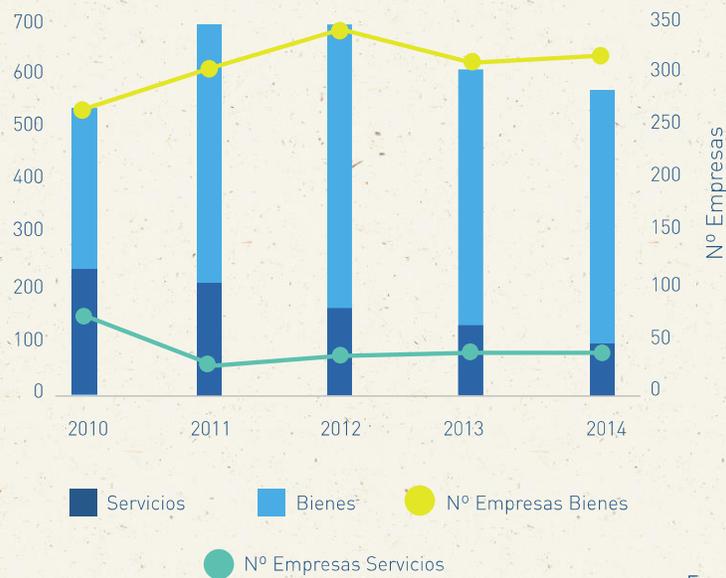
de los recursos mineros, se planteó la interrogante sobre el “legado” que esta actividad dejaría al país, una vez que el mineral se agote o su explotación se torne poco rentable (CESCO, 2014).

Actualmente, el sector minero se enfrenta a la incertidumbre en los retornos económicos futuros, frente a la incertidumbre en los mercados globales y el desempeño interno del sector. Luego, este lineamiento podría ser una interesante oportunidad para el impulso de empresas de bienes y servicios, que puedan ocupar el expertise de la mano de obra que llegará a ser menos requerida a futuro en la minería extractiva y sus empresas afines.

### 8.1 Descripción

El alto nivel de desarrollo de la minería chilena, dado su volumen y la tendencia hacia la externalización de productos y servicios, hace deseable que el sector tenga una transición hacia una industria de servicios más desarrollada y que su foco fundamental no solo sea la producción y exportación de minerales.

En el año 2014, el Consejo Nacional de Innovación para el Desarrollo (CNID) publicó el documento “Minería: Una Plataforma de Futuro para Chile” que tiene como objetivo avanzar hacia una minería virtuosa, inclusiva y sustentable y establece como métricas de impacto, entre otros aspectos, “alcanzar los US\$10.000 millones al año 2035 en exportaciones de bienes y servicios asociados a la minería intensivos en conocimiento y desarrollar al menos 250 empresas proveedoras de clase mundial” (CNID, 2014). Ello se traduce en el desarrollo de una importante industria exportadora de tecnologías y servicios intensivos en conocimiento (METS) para atender necesidades de la minería a nivel global y también de otras industrias.



**Figura 42 Exportaciones y número de empresas proveedoras, separados en bienes y servicios (US\$MM FOB)**

Fuente: (Fundación Chile, 2015)

De acuerdo a Fundación Chile (2015), durante el año 2014, 329 empresas proveedoras exportaron productos y/o servicios por un monto total de US\$ 537 millones. Estas exportaciones alcanzaron montos máximos de US\$ 654 millones en el año 2012, observándose cierta relación entre los volúmenes exportados y el precio del cobre. Solo cinco empresas exportaron el 61% de este monto y la mayoría de ellas (87%) exportó menos de US\$ 1 millón.

Los bienes más exportados por las empresas proveedoras de la minería fueron las bolas, partes para máquinas y aparatos para molienda de minerales, y el nitrato de amonio (compuesto utilizado como materia prima para la fabricación de explosivos), que representan el 58% de las exportaciones de bienes para el año 2014, con montos que ascienden a los US\$ 137 millones y US\$ 118 millones respectivamente (Fundación Chile, 2015).

Les siguen, con montos significativamente inferiores, partes moldeadas, tornillos y pernos de hierro o acero, maquinas, partes y los demás útiles para máquinas de sondeo o perforación, partes de bombas para líquidos, partes destinadas principalmente para máquinas o aparatos como grúas, topadores, cargadores y transformadores dieléctricos, entre otros (Fundación Chile, 2015).

En el caso de los servicios, el sector de proveedores exporta principalmente diseño y asesoría en ingeniería para la minería, con montos de US\$ 84 millones, que representan el 90% de las exportaciones del año 2014. También se exportan Servicios de procesamiento de imágenes terrestres de origen satelital y servicios de asesoría y apoyo técnico en tecnologías de información por un monto de US\$ 7 millones (Fundación Chile, 2015).

La mayor parte de estas exportaciones se enfocan en América Latina, en particular en Perú, que concentra el 45% de las mismas. El resto de los montos se exporta a Brasil, Argentina y Bolivia y en menor medida a países de Asia, Oceanía y Medio Oriente.

Por último, respecto a la procedencia de los productos y servicios, el 49% corresponden a la Región Metropolitana, seguido de las Regiones de Antofagasta y Bío Bío (35% y 10%, respectivamente). El resto de las regiones concentran montos muy bajos o prácticamente nulos (Fundación Chile, 2015).

### *8.1.1 Tendencias internacionales relevantes*

El sector METS está creciendo fuertemente en países como Australia, Canadá y Finlandia. A continuación se presentan algunos antecedentes de la evolución de estos sectores como ejemplos de países con crecimiento de la economía terciaria y una creciente necesidad de reducir la dependencia de la minería extractiva.

En Australia, en el periodo 2001 - 2003 versus el 2011 – 2013, después de la extracción de mineral de hierro, los subsectores con mayor crecimiento fueron (en orden) construcción (alrededor del 50%); servicios de transporte, correos y almacenamiento, aéreas y espaciales; servicios financieros y de seguros, salud y asistencia social; minería (con exclusión de los servicios de exploración y explotación minera, extracción de petróleo y gas); servicios de transporte, servicios de correos y

almacenamiento; servicios profesionales, científicos y técnicos; servicios de artes y recreación; otros<sup>21</sup>.

En particular a la industria de los METS, en Australia el sector ha crecido más rápido que la industria primaria, con ventas que van desde los A\$1.200 millones 1995 a A\$8.700 millones en 2008, equivalentes a US\$ 6.300 millones (Deverell, 2015). En el 2013, el sector METS de Australia exportó US\$ 15.000 millones en bienes y servicios vinculados al negocio minero. Este dato fue estimado en base a una encuesta realizada a 860 empresas del sector METS (Austmine, 2013).

Como se aprecia en la figura siguiente, el sector servicios de la minería ha aumentado su participación al PIB de Australia en la última década, en una mayor proporción que la industria minera primaria. En la figura posterior se observan los países y regiones donde exporta el sector METS de Australia. De los A\$90 billones vendidos el 2012, A\$27 billones se exportaron a los cinco continentes, siendo Chile el quinto principal país importador de METS australianos, con un 17,8% del total exportado.



**Figura 43 Aporte al PGB del sector servicios mineros y de la minería en Australia**  
Fuente: (Austmine, 2013)

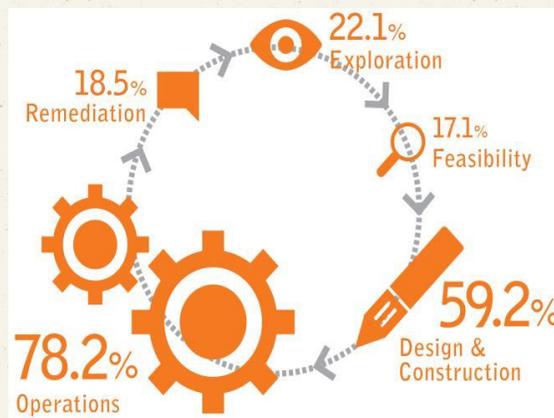
<sup>21</sup> <http://www.abs.gov.au/AUSSTATS/abs@.nsf/DetailsPage/5206.0Sep%202013?OpenDocument>



**Figura 44 Regiones y países a los que se exporta**  
Fuente: (Austmine, 2013)

El alto porcentaje de TI y desarrolladores de tecnología que están exportando en Australia, 72% y 82%, respectivamente, da señales de un auge de las empresas nacidas en la globalidad cuya savia se construye en el extranjero.

Como se aprecia en la figura siguiente, los METS trabajan en todas las fases del ciclo de vida minero, con énfasis (78%) en operaciones. Más de la mitad, 59%, trabaja en diseño y construcción y un porcentaje menor de METS trabajan en las otros 3 fases.



**Figura 45 Porcentaje de METS en el ciclo de vida de la minería en Australia**  
Fuente: (Austmine, 2013)

Los METS son muy flexibles y es importante tener en cuenta que el 56% de las empresas trabajan en más de 1 fase del ciclo de vida de la minería, y el 5% trabaja en todas las 5 fases. Esto ayuda a mitigar los riesgos durante las crisis del mercado y permite a las empresas cambiar los recursos y el enfoque según sea necesario para dar cabida a las fluctuaciones cíclicas.

Un caso interesante de revisar es el de Kalgoorlie, en el oeste de Australia, que es ciudad minera desde 1900, con producción de oro y minerales de níquel en operaciones de larga vida y con una industria en evolución. Dada su ubicación, 600 km al este de Perth y con una población de la región de 45.000 personas, inicialmente desarrollaron Servicios Mineros debido a la lejanía, con clusters de METS regionales fuertes (sectorial y geográficamente) con cerca de 200 distritos de fabricación y servicios. Hoy en día es un "exportador" neto de equipos y servicios de minería a otras localidades.

Otro caso similar corresponde a Darwin, Territorio del Norte de Australia, que también se desarrolló debido a la lejanía de sus instalaciones. En efecto, es la ciudad más septentrional y aislada de Australia (población de 110.000 personas) que posee el principal centro de servicios para minería, petróleo y gas, defensa y sectores marinos. Hoy posee una ventaja competitiva en los servicios mineros y petroleros.

Los factores de éxito de estas dos experiencias son (Satchwell, 2014):

- Operaciones de larga duración de clientes de la minería / petróleo; mercados diversos (Darwin - diversidad sectorial; Kalgoorlie - diversidad geográfica)
- Buen negocio e infraestructura comunitaria: terrenos con servicios industriales, carreteras, energía, agua
- Mano de obra especializada de los residentes; perfil demográfico sostenible; atractivos equipamientos de la ciudad
- Instituciones de educación y formación: escuelas secundarias públicas y privadas, formación y educación profesional; universidades / escuela de minas (Kalgoorlie)
- Cultura empresarial fuerte, redes de apoyo, servicios de negocios
- Instituciones financieras que entienden la minería y los servicios
- Intervenciones gubernamentales de apoyo, por ejemplo: políticas de participación de la industria; alianzas con las empresas para conectar clientes y proveedores; apoyo a la pequeña empresa

Por su parte, Finlandia ha puesto la mira en el desarrollo de una industria del mineral que es "inteligente", "invisible" y altamente productiva. El objetivo declarado del Programa de Minería Verde de Tekes (agencia finlandesa de financiación para la Tecnología y la Innovación) es "minimizar el impacto ambiental en toda la cadena de proceso" y promover tanto la eficiencia energética como de materiales en los procesos de extracción. Finlandia ha comprometido aproximadamente 30 millones de euros al programa de más de 5 años, con el objetivo de ser un "pionero a nivel mundial" al 2020. La innovación finlandesa ha sido recientemente reconocida por el Information Technology and Innovation Foundation (ITIF) con sede en EEUU. Finlandia ocupa el segundo lugar detrás de Singapur, y dos puestos por delante de los Estados Unidos en el informe más reciente sobre innovación y competitividad (Atkinson y Andes, 2011) y (Sandström, Uusisuo, & Keskinen, 2013).

En la misma línea, el programa Cleantech de Finlandia busca el desarrollo de productos y procesos que mejoren la utilización sostenible de las materias primas y al mismo tiempo minimicen los impactos nocivos sobre el medio ambiente. Para ello busca aprovechar las fortalezas de Finlandia en tecnología limpia a través de los siguientes enfoques (Sandström, Uusisuo, & Keskinen, 2013):

- Eficiencia de materiales y energía en la industria
- Bioenergía

- Tratamiento de aguas
- Gestión de residuos

En el caso de la minería, el programa Cleantech promueve la minería sustentable utilizando tecnología limpia en materiales, agua y eficiencia energética. Para ello fomenta el uso de energía renovable, maximiza la eficiencia energética y de materiales, recicla y purifica las aguas de proceso y utiliza sistemas de circuito cerrado.

El Gobierno apoya el desarrollo de la industria de la minería sostenible en Finlandia a través del Programa de Minería Verde, publicado en abril del 2013. Este programa comprende un Plan de acción para el desarrollo de las industrias extractivas sostenibles que se basa en la cooperación con las organizaciones de la industria, la academia, la investigación y desarrollo, el sector público y las ONGs. El programa comprende a más de 2.000 empresas con facturación € 20,6 billones.

Tekes busca activamente la cooperación internacional y apoya la internacionalización de las empresas finlandesas dentro de las áreas de foco. El financiamiento del RDI de Tekes para las empresas y organizaciones de investigación es de aproximadamente € 600 millones anualmente. Tekes lleva a cabo programas de innovación y promueve la comercialización en conjunto con sus socios.

En el caso de Canadá, entre 2008 – 2011, las estadísticas muestran un crecimiento en algunos sectores y disminución en otros (reservas minerales)<sup>22</sup>. Para el período 2010 - 2014 el crecimiento de las industrias extractivas, petróleo y extracción de gas superaron al resto de los sectores en su contribución al PIB.

La economía tiene como base una industria de alta tecnología, y con un PIB superior al billón de dólares, en que las empresas canadienses de suministro minero se caracterizan por usar tecnología altamente especializada.

Otro ejemplo interesante es el cluster Bothnian en Scandnavia, que es conocido por sus proveedores de servicios como Atlas Copco, Sandvik, Outotec, Metso, entre otros.

## 8.2 Barreras identificadas

Como se aprecia de los antecedentes actuales del sector, Chile no ha traducido su amplio conocimiento tecnológico adquirido en más de 100 años de minería en una industria de bienes y servicios importante que sea capaz de desarrollar nuevos productos y acceda a nuevos mercados extranjeros.

De la misma forma, la poca cantidad de proveedores que exportan solo unos pocos bienes y servicios, radicados principalmente en Santiago (no en Antofagasta, donde se concentra el principal desarrollo minero) presenta una barrera importante para el desarrollo futuro de este sector.

Si bien en las últimas décadas se han intentado numerosos esfuerzos para potenciar las industrias de proveedores relacionadas con la minería, principalmente a través del impulso de un cluster minero en la Región de Antofagasta, el estatus actual de los proveedores de la minería no es del

<sup>22</sup> <http://www.statcan.gc.ca/tables-tableaux/sum-som/l01/cst01/phys09-eng.htm>

todo auspicioso, de acuerdo a estudios de (COCHILCO, ND) (COCHILCO, 2007), (CESCO, 2014) y (Fundación Chile, 2015), además de la opinión de actores entrevistados a nivel de servicios públicos en la Región de Antofagasta.

Parte del diagnóstico indica que los encadenamientos productivos hacia atrás son poco profundos, ya que si bien las empresas mineras realizan importantes compras en insumos y servicios mineros, estos son principalmente importados; aunque por otra parte, la minería ha propiciado la formación de encadenamientos productivos con sectores relacionados, a través del desarrollo de otros sectores económicos de servicios complementarios a la minería, en la forma de vinculaciones laterales como sería el sector Energía, Agua y Gas, así también como con los sectores Comercio y Servicios Financieros.

Esto se ve mayormente afectado por las asimetrías entre las grandes compañías mineras y las empresas de proveedores, lo que afecta las relaciones de confianza y de trabajo colaborativo entre ellos. Esta es una de las principales barreras que se presentan a nivel productivo en el país y que provoca el bajo nivel de encadenamientos productivos y sinergias en y entre sectores.

Por otro lado, a pesar que Chile es el principal productor de cobre y minerales no metálicos, no se ha caracterizado por poseer una gran cantidad de entidades relacionadas a la investigación en minería, que exporte tecnología hacia otros países mineros. Asimismo, la industria minera nacional se ha caracterizado por ser una gran usuaria de la tecnología creada en países mineros desarrollados (COCHILCO, ND).

De acuerdo a (CESCO, 2014), en Chile existe la carencia de una política pública que apueste por el potencial de la Gran Minería y su “efecto multiplicador”, dadas las señales contrapuestas respecto de la conveniencia de una política pública que promueva sectores económicos específicos o por una política de fomento de tipo “horizontal” (orientada a levantar obstáculos genéricos para la innovación empresarial), volviendo en el último tiempo hacia las políticas “verticales” o “selectivas”.

### **8.3 Ventajas y oportunidades**

Aunque parezca paradójico, la actual situación de la minería chilena, con bajos precios del cobre, altos costos de mano de obra y energía, competidores con menores costos de producción, entre otras dificultades que muestra en su desarrollo presente, es una oportunidad para el impulso de empresas de bienes y servicios asociados a la minería, que puedan ocupar el expertise de la mano de obra que está siendo menos requerida por las grandes empresas en este periodo. Dichas empresas podrían exportar estos bienes y servicios a países vecinos y en el futuro convertirse en referentes para otras regiones en el mundo.

El desarrollo de una industria fuerte en METS que vaya equiparándose a los niveles de la industria minera primaria podría tener un impacto significativo sobre el uso de la energía y del agua. De acuerdo a Deverell (2015), en Australia se estima que el sector de servicios sólo utiliza el 10% de la energía requerida por la minería y la industria pesada por cada dólar de valor agregado.

Para potenciar el desarrollo de la industria de METS se debe fomentar la asociatividad entre integrantes del cluster y apoyar el desarrollo de proveedores locales y fomentar los emprendimientos en bienes y servicios asociados a la minería. Para ello es fundamental atraer

empresas proveedoras de la minería a Chile, que tengan un importante foco en la innovación, que puedan trabajar en conjunto con los centros de investigación y organismos de fomento a la I+D+i. Adicionalmente, se deben desarrollar capacidades técnicas de la fuerza laboral junto con habilidades blandas relacionados con la innovación y el emprendimiento, además del enfoque en nuevos servicios ambientales y energéticos que se han vuelto más relevantes a nivel industrial.

Una de las principales iniciativas de encadenamientos productivos de la industria, el Programa de Proveedores de Clase Mundial impulsado por BHP Billiton y Codelco, apoyado por CORFO, el Ministerio de Minería y Fundación Chile, ha sido uno de los mejores intentos por avanzar en esta materia. A través de un trabajo de “innovación abierta” entre compañías mineras y proveedores, se ha alcanzado un portafolio de 70 proyectos de innovación que apuntan a superar los desafíos tecnológicos de la industria (ver figura siguiente). No obstante, esta iniciativa requiere de una escala mayor si desea lograr el impacto deseado. De mantener su volumen actual, el “efecto multiplicador” de la minería hacia la economía del país no se materializará (CESCO, 2014).



**Figura 46 Proceso colaborativo de creación de valor**  
Fuente: (CESCO, 2014)

Todo ello permitirá que el Cluster Minero chileno pueda proyectarse como un canal de entrada de nuevos complejos productivos, de manera que pueda generar una evolución que provoque un salto cuantitativo, desde el desarrollo productivo minero del cobre hasta un desarrollo productivo manufacturado del cobre, en donde las METS jugarán un rol primordial.

#### **8.4 Secuencialidad**

El estudio del CNID (2014) “Minería: Una Plataforma de Futuro para Chile” espera que al año 2035 el sector alcance US\$10.000 millones en exportaciones de bienes y servicios asociados a la minería y se desarrollen al menos 250 empresas proveedoras de clase mundial. Como se aprecia, a partir de los antecedentes actuales del país, la brecha para conseguir esta meta es muy importante.

## 9. Trabajos citados

- Kalundborg Symbiosis. (2015). *Kalundborg Symbiosis*. From <http://www.symbiosis.dk/diagram>
- Latorre, A. P. (2009). La Simbiosis Industrial en Kalundborg, Dinamarca. *DEARQ - Journal of Architecture* (4), 155-160.
- López, R. A. (2009). *Cooperación entre Firmas y Ecología Industrial. Un estudio de caso: La industria Mexicana de Reciclaje*. Universidad Autónoma Metropolitana, División de Ciencias Sociales y Humanidades.
- Andy, G., & Keoleian, G. (1995). *Industrial ecology: An introduction*. University of Michigan, National Pollution Prevention Center for Higher Education.
- Carrillo, G., Constantino, R., & Roldán, A. (2010). *Incentivos de la política ambiental para ecología industrial en México*.
- Opitz, S. L. (2014). *Evaluación de factibilidad de tecnologías para desalinizar agua, por medio de energía solar térmica, en el norte de Chile*. Trabajo de título, Universidad de Chile, Santiago.
- COCHILCO. (2014). *Proyección de consumo de agua en la minería del cobre 2014-2025*.
- McGraw Hill. (2013). *World Green Building Trends*. SmartMarket Report.
- Harry Sandström, Maija Uusisuo, & Kari Keskinen. (n.d.). Finnish Green Mining and Cleantech Programs, Current RDI Activities. Finlandia: TEKES.
- Vigon, B. (2002). *Industrial Ecology in the Cement Industry*. World Business Council for Sustainable Development.
- Ministerio del Medio Ambiente. Chile. (n.d.). Retrieved Octubre de 2015 from <http://www.mma.gob.cl/1304/w3-propertyvalue-16542.html>
- Duarte, D. (2009). Carbon Dioxide for Cooling Water pH Control. Farmington, Nuevo México.
- Astisensor. (n.d.). (Advance Sensor Technologies, Inc.) Retrieved 2 de Enero de 2013 from [http://www.astisensor.com/Carbon\\_Dioxide\\_Versus\\_Mineral\\_Acids.pdf](http://www.astisensor.com/Carbon_Dioxide_Versus_Mineral_Acids.pdf)
- Cortes, J. (2003). *Uso del CO2 en la neutralización de aguas residuales*. Madrid: Febrero.
- Universita di Messina. (2008). *Electrocatalytic Gas-Phase Conversion of CO2 in confined Catalyst*. Community Research and Development Information Service.
- Каув, М. (2012 йил enero). *Recycling CO2, the perfect biofuel?* From <http://ivem.eldoc.ub.rug.nl/ivempubs/dvrapp/EES-2012/EES-2012-139M/>
- Cavallini, A. (2012). Properties of CO2 as refrigerant. Padova, Italia: Centro Studi Galileo Industria & Formazione.
- Crawford, P. H. (1958). Cement & Concrete. In P. H. Crawford, *Cement & Concrete*. Baltimore.
- Pruess, S. &. (2009). A Phase-Partitioning Model for CO2-Brine Mixtures at Elevated Temperatures and Pressures: Application to CO2-Enhanced Geothermal Systems.
- Carpenter, K. (n.d.). *Heat Mining Company LLC*. Retrieved 2 de Enero de 2013 from [www.heatmining-sd.com/](http://www.heatmining-sd.com/)

Nordbotten, C. &. (2004). *Injection and Storage of CO<sub>2</sub> in Deep Saline Aquifers: Analytical Solution for CO<sub>2</sub> Plume Evolution During Injection*. Princeton, NJ, USA: Springer.

Spycher, & Pruess. (2009). *A Phase-Partitioning Model for CO<sub>2</sub>-Brine Mixtures at Elevated Temperatures and Pressures: Application to CO<sub>2</sub>-Enhanced Geothermal Systems*. Berkeley, CA, USA: Springer.

Zero Emission Resource Organisation. (2012). *Zeroco2.no*. Retrieved 5 de Noviembre de 2012 from <http://www.zeroco2.no/>

Union Engineering. (10 de 2012). *Union's latest CO<sub>2</sub> capture plant signifies sustainable 'stronghold' in South American region*. Retrieved 12 de Noviembre de 2012 from [http://www.union.dk/media/Union\\_Press\\_Release\\_October\\_2012.pdf](http://www.union.dk/media/Union_Press_Release_October_2012.pdf)

Rigueira, M. (5 de 12 de 2011). *EM*. Retrieved 12 de Noviembre de 2012 from [http://www.em.com.br/app/noticia/economia/2011/12/05/internas\\_economia,265770/nova-fabrica-da-coca-cola-femsa-em-itabirito-vai-gerar-800-empregos-diretos.shtml](http://www.em.com.br/app/noticia/economia/2011/12/05/internas_economia,265770/nova-fabrica-da-coca-cola-femsa-em-itabirito-vai-gerar-800-empregos-diretos.shtml)

Rexarc International Inc. (2012). *Gasworld*. Retrieved 26 de Diciembre de 2012 from Carbon capture plant signifies South American stronghold: <http://www.gasworld.com/carbon-capture-plant-signifies-south-american-stronghold/2001323.article>

Sentido Común México. (Junio de 2015). *Sentido Común*. Retrieved Octubre de 2015 from <http://bs.sentidocomun.com.mx/articulo.phtml?id=20767&auth=qkpzienvbq73btr>

Scientific American. (Agosto de 2008). <http://www.scientificamerican.com/article/cement-from-carbon-dioxide/>. Retrieved Julio de 2015 from Cement from CO<sub>2</sub>: A Concrete Cure for Global Warming?

Global CCS Institute. (2011). *Accelerating the uptake of CCS: industrial use of captured carbon dioxide*. (P. Brinckerhoff, Ed.)

MIT Technology Review. (Junio de 2010). *TR10: Cemento verde. Almacenamiento de dióxido de carbono en cemento*. Retrieved Julio de 2015 from MIT Technology Review: <https://www.technologyreview.es/energia/36251/tr10-cemento-verde/>

Davison, J. (2014). CCS in the Cement Industry. In I. G. (IEAGHG) (Ed.), *CCS in Industry Workshop*.

CEPAL. (2015). *Panorama de la Inserción Internacional de América Latina y el Caribe. La crisis del comercio regional: diagnóstico y perspectivas*. División de Comercio Internacional e Integración.

Zero Emissions Platform -ZEP. (2012). *European Technology Platform for Zero Emission Fossil Fuel Power Plants*. Retrieved 6 de Noviembre de 2012 from <http://www.zeroemissionsplatform.eu/projects/global-projects/details/161.html?mn=1>

Ministerio del Medio Ambiente. (2015). *Postulación – Comité Consultivo de Consumo y Producción Sustentables*. Retrieved Agosto de 2015 from Ministerio del Medio Ambiente: <http://portal.mma.gob.cl/postula-comite/>

Cantarello, A. C., & Newton, E. (2014). *An Introduction to the Green Economy: Science, Systems and Sustainability*.

PNUMA. (2010). *"El ABC del CPS. Aclarando Conceptos sobre el Consumo y la Producción Sostenibles"*. (P. d. Medioambiente, Ed.).

PNUMA. (2012). Economía Verde en el contexto del desarrollo sostenible y erradicación de la pobreza: Una perspectiva desde América Latina y el Caribe. *XVIII Reunión del Foro de Ministros de Medio Ambiente de América Latina y el Caribe. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente*. Quito, Ecuador.

UNIDO. (2011). *UNIDO Green Industry. Policies for supporting Green Industry*. (S. o. Organization, Ed.) Vienna, Austria.

Industrial Ecology. (Junio de 2010). *Industrial Ecology Wiki*. Retrieved Agosto de 2015 from Burnside Eco-industrial Park: [http://ie.tudelft.nl/index.php/Burnside\\_Eco-industrial\\_Park](http://ie.tudelft.nl/index.php/Burnside_Eco-industrial_Park)

Ministerio del Medio Ambiente. (2015). *Ministerio del Medio Ambiente. Chile*. Retrieved Agosto de 2015 from Ley para el reciclaje: <http://www.mma.gob.cl/1304/w3-propertyvalue-16542.html>

Borrero, M. (2014). Las tendencias mundiales de las Compras Públicas Sostenibles (CPS) y su contribución para el desarrollo sostenible. In P. d. PNUMA (Ed.), *RICG Green Day – Workshop on Sustainable Public Procurement*. Asunción, Paraguay.

Centro de Energía. (2014). *Propuesta para el desarrollo de un cluster de energía solar en la región de Antofagasta*. Estudio, SEREMI de Energía de la región de Antofagasta, Santiago.

CEPAL. (2014). *Innovación sustentable: espacios para mejorar la competitividad de las pymes argentinas*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe.

BID. (2008). *Desarrollo sostenible: medio ambiente, cambio climático y energía. Oportunidades para el diálogo y la cooperación entre la Unión Europea y América Latina y el Caribe*. Banco Interamericano de Desarrollo.

McKinsey & Company. (2015). *Europe's circular-economy opportunity*.

Ministerio de Recursos Naturales de Canadá. (2013). *Ministerio de Recursos Naturales de Canada*. Retrieved Octubre de 2015 from <http://www.nrcan.gc.ca/mining-materials/green-mining/8178>

SEAI -Sustainable Energy Authority of Ireland. (2008). *Energy Efficient Design Methodology, a design methodology to deliver the most energy-efficient plant and process*. Dublin: own publications.

BID e IEA. (2012). *Gobernanza de la Eficiencia Energética. Manual Regional para América Latina y el Caribe*.

Mabrouk, A. N., & Fath, H. E. (2015). *Technoeconomic study of a novel integrated thermal MSF–MED desalination technology*.

Tonner, J. (2008). Barriers to Thermal Desalination in the United States. *Reclamation Managing Water in the West - Desalination and Water Purification Research and Development Program Report No. 144*.

Ramilo, L., Gómez, S. M., & Coppari, N. R. (2003). *Tecnologías de proceso para desalinización de aguas*.

Alarcón, D., Blanco, J., Zarza, E., Malato, S., & León, J. (2002). *Comparación económica de procesos de desalación de agua de mar: el reto de la destilación multi-efecto con energía solar*. Almería, España.

- Ministerio de Energía. (2014). *Ministerio de Energía*. Retrieved 2015 from Agenda de energía. Un desafío país, progreso para todos.: <http://www.minenergia.cl/documentos/estudios/2014/agenda-de-energia-un-desafio-pais.html>
- WEF. (2014). *The Global Energy Architecture Performance Index Report 2014*. World Economic Forum, Disponible en: <http://www.weforum.org/reports/global-energy-architecture-performance-index-report-2014>.
- Centro de Energía. (2015). *Propuesta para el desarrollo de un cluster de energía solar en la región de Antofagasta*. Estudio, Universidad de Chile, Santiago.
- Zervos, A. e. (2014). *Renewables 2014 Global Status Report*. NY: [www.ren21.net](http://www.ren21.net).
- UNIDO. (2009). *A greener footprint for industry. Opportunities and challenges of sustainable industrial development*. United Nations Industrial Development Organization (UNIDO), Vienna.
- CIEMAT. (2015). *Investigación y Desarrollo: Capacidades*. Retrieved octubre de 2015 from Centro de Investigación Energética, Medioambientales y Tecnológicas. Gobierno de España: <http://www.psa.es/webesp/capacidades/index.php#capacidad6>
- CleanTechWiki: A clean technology plataforma. (2015). *Desalination*. Retrieved Octubre de 2015 from <http://www.climatetechwiki.org/content/desalination>
- Valhalla. (2015). *La oportunidad*. Retrieved Agosto de 2015 from Valhalla: <http://valhalla.cl/la-oportunidad/>
- González, M. (2012). Desalación para suministro de agua potable en el norte de Chile: Caso de Aguas de Antofagasta S.A. *II seminario internacional de desalación en Antofagasta*.
- CORFO. (2014). *Programa Estratégico Nacional Productividad y Construcción Sustentable*. Gerencia de Desarrollo Competitivo, Santiago.
- MINVU. (2013). *Estrategia Nacional de Construcción Sustentable*. Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Secretaría Ejecutiva Construcción Sustentable.
- CNID. (2014). *Minería: Una Plataforma de Futuro para Chile*. Consejo Nacional de Innovación para el Desarrollo, Santiago.
- Austmine. (2013). *Australia's new driver for growth. Mining, equipment, technology and services*. Retrieved Septiembre de 2015 from Austmine Smart Mining: <https://interactivepdf.uniflip.com/2/88168/312940/pub/>
- Deverell, J. (Abril de 2015). Explorando el Futuro: Tendencias y Tecnologías sobre Energía, Cambio Climático y Desarrollo para Chile. *Presentación Taller MAPS Chile*. (C. Australia, Ed.) Santiago, Chile.
- Fundación Chile. (2015). *Proveedores de la Minería Chilena. Reporte de Exportaciones 2010 – 2014*. Desarrollado en el marco del Programa Nacional de Minería, Alta Ley.
- COCHILCO. (2007). *Oportunidades de negocios para proveedores de bienes, insumos y servicios mineros en Chile*. Comisión Chilena del Cobre, Dirección de Estudios, Santiago.
- CESCO. (2014). *Proveedores y Minería: Desafíos para potenciar la Innovación de Alto Impacto*. Centro de Estudios del Cobre y Fundación Chile, Santiago.

Mason, L. L. (2011). *Vision 2040: Mining, minerals and innovation – A vision for Australia's mineral future*. CSIRO Minerals Down Under Flagship, Institute for Sustainable Futures (UTS, Sydney, Australia) y Curtin University (Perth, Australia).

COCHILCO. (2009). *Biolixiviación: Desarrollo Actual y sus Expectativas*. Comisión Chilena del Cobre, Santiago de Chile.

IPCC. (2005). *La Captación y el Almacenamiento de Dióxido de Carbono*. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC).

COCHILCO. (ND). *Desarrollo del cluster minero en Chile: Estado actual*. Comisión Chilena del Cobre, Unidad de Asuntos Internacionales y Medioambiente (UAIMA), Santiago.

IEA. (2010). *Energy Technology Perspectives 2010*. Retrieved 2015 01-Octubre from International Energy Agency: [http://www.iea.org/techno/etp/etp10/key\\_figures.pdf](http://www.iea.org/techno/etp/etp10/key_figures.pdf)

CORFO. (Octubre de 2015). La estrategia de especialización inteligente de Chile: desafíos y oportunidades. *Seminario La Región del Bio Bio ante la Cuarta Revolución Tecnológica*. Concepción, Chile.

CEADU. (2015). *Centro de Estudios, Análisis y Comunicación del Uruguay*. Retrieved Agosto de 2015 from Consumo sustentable: <http://www.ceadu.org.uy/consumosustentable.htm>

Sandström, H., Uusisuo, M., & Keskinen, K. (4 de Marzo de 2013). Finnish Green Mining and Cleantech Programs, Current RDI Activities, TEKES.

Satchwell, I. (Abril de 2014). Adding value to minerals and energy: mining equipment, technology and services. *Mining Supplies and Innovation: An opportunity for the Country*.

Ávila, M. (2008). *Expower*. Retrieved Julio de 2015 from <http://www.expower.es/extintores-dioxido-carbono.htm>