

DILEMAS ESTRATÉGICOS PARA EL SURGIMIENTO DE UNA INDUSTRIA SOLAR EN LATINOAMERICA – UNA ENFOQUE DESDE CHILE¹

Arturo Alatrística Corrales: arturo.alatrística@gmail.com

Centro de Innovación para Adaptación y Sostenibilidad – Perú / Chalmers University of Technology - Suecia

Tristan Sloan: tasloan@gmail.com

Centro de Innovación para Adaptación y Sostenibilidad – Perú / Chalmers University of Technology - Suecia

Resumen. *Mitigar los devastadores efectos del cambio climático requiere una des-carbonización de la economía en pocas décadas, dado paso a una revolución energética que alterará dramáticamente la economía mundial. Este proceso, demanda llevar a escala industrial, tecnologías de generación con energía renovable no convencional (ERNC).*

La energía solar es la ERNC por excelencia, dados sus ilimitados recursos. Sin embargo, las tecnologías de generación son mucho más costosas comparadas con otras tecnologías. Esta industria no es aún madura, ya que muchas de sus tecnologías están en estado de experimentación. Desarrollar una industria como estas, implica abandonar estrategias de aprendizaje y transferencia, y dar paso a la innovación tecnológica.

Tanto por condiciones geográficas, como la posibilidad de ofrecer menores costos de implementación (en comparación con países industrializados basados en energía fósil), ciertos países latinoamericanos se encuentran en una situación privilegiada para el desarrollo de energía solar. Sin embargo, existe en estos países, una brecha infraestructural para la innovación tecnológica, debido a los bajos recursos y falta de capital humano especializado entre otros factores.

El presente artículo expone algunas oportunidades que tienen los países de Latinoamérica, para desarrollar esta industria, exponiendo cuales son los retos que implica su desarrollo desde una visión interna de Chile. Finalmente, elementos clave son presentados, para contribuir con la formulación de políticas y toma de decisiones.

Palabras clave: Energía renovable no convencional, Energía solar, Sistemas de innovación, Convergencia tecnológica.

1 INTRODUCCION

1.1 Antecedentes

La creciente concentración de dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera, debido principalmente al consumo de combustibles fósiles, se ha relacionado con un aumento de la temperatura media de la tierra. Este aumento de temperatura es el factor principal desencadenante del cambio climático mundial que originaría consecuentemente un aumento de desastres naturales y daños de enorme magnitud, amenazando a los seres humanos y los ecosistemas globales. En respuesta a esta amenaza, la Organización de Naciones Unidas (ONU) ha convenido la implementación del Protocolo de Kyoto en 1997, que establece objetivos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en los países industrializados. El protocolo sigue las recomendaciones del panel intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), el cual ha presentado evidencia de que existe la necesidad de reducir el 50% de las emisiones de gases de efecto invernadero para 2050, lo que implica por ejemplo una reducción de 80 a 95% de emisiones en Europa (IPCC, 2007) .

Reducir emisiones y satisfacer la creciente demanda mundial de energía requiere un cambio en la manera en que se produce y suministra energía. Este cambio implica un uso global de energías renovables. Sin embargo, no existe una tecnología de producción de energía renovable suficientemente grande como para cubrir la demanda global, lo que implica el desarrollo de varias fuentes de energía renovable no convencional (ERNC). Llevar varias tecnologías de ERNC a escala industrial y transformar las matrices mundiales de energía en un tiempo no mayor a cuatro décadas, representa un cambio de enorme magnitud que sin duda desestabilizará la economía global. Por tanto, no serán solo las fuerzas del mercado, sino también el marco político y regulatorio elementos clave para el desarrollo de mercados de ERNC.

Latinoamérica tiene potencial para el desarrollo de diversas fuentes de energía renovable no convencional, entre ellas la solar. De hecho, el territorio del desierto de atacama es una de las zonas con mayor radiación solar en el mundo. Chile es uno de los países que ha tomado más seriamente el reto de desarrollar una industria solar. Desde el año 2008, Fundación

¹ El presente artículo ha sido elaborado en base a la tesis: “Opportunities and Strategic Dilemmas for Building a World Class Cluster in Chile”, elaborado por los mismos autores en la universidad de Chalmers – Suecia con colaboración de Fundación Chile.

Chile, una prestigiosa corporación público-privada involucrada con el nacimiento de nuevas industrias en Chile, viene implementando el proyecto “Plataforma solar Atacama” que tiene como principal objetivo el surgimiento de un clúster industrial de energía solar de escala mundial.

1.2 Identificación del problema

Casos exitosos de industrialización moderna en países en vías de desarrollo, tales como la industria de software en India, la electrónica en Taiwán y Malasia, o la de Salmón en Chile o la de papel y pulpa en Brasil (Chandra, 2006; ONUDI, 2009) han tenido como un común denominador el fenómeno de convergencia (*Catching up*). Según este término, estas industrias han podido desarrollarse debido a procesos de aprendizaje (a través de subsidiarias o actividades de adopción y adaptación de tecnologías) y han resultado exitosas debido a la calidad y costes más bajos de producción en relación a sus competidores ubicados en países industrializados².

Este proceso de convergencia industrial sucederá en industrias maduras donde las tecnologías se encuentran bien desarrolladas y la reducción de costos de producción es un aspecto clave de competitividad. Sin embargo, el caso de la industria solar es diferente. Esta industria es relativamente joven, y viene siendo impulsada por el asunto ambiental. Actualmente muchos diseños de tecnologías solares se encuentran en experimentación, y la producción de electricidad es una de las más costosas en las tecnologías ERNC. La innovación tecnológica sin duda, es el principal elemento conductor de esta industria, dada su relativa juventud.

La innovación tecnológica es un elemento crucial en sectores industriales de alta tecnología y es clave para el desarrollo de estrategias de industrialización en países industrializados. Sin embargo el paradigma de la innovación tecnológica ha sido recientemente introducido en países en desarrollo como los latinoamericanos, viéndose en muchos casos notables carencias en la infraestructura para este propósito. Siendo la industria solar, una industria cuyo elemento conductor es justamente la innovación tecnológica, su desarrollo en Latinoamérica “parece”, a primera vista, una tarea poco auspiciosa.

En este sentido, el presente artículo tratará de responder las siguientes preguntas:

- Cuáles son las oportunidades para fomentar una industria solar en Latinoamérica?
- Cuáles son los principales retos que debe superar una industria solar latinoamericana?
- Que elementos clave, para el desarrollo de políticas, pueden ser identificados?

1.3 Restricciones

En este trabajo, el surgimiento de una industria solar se entiende como el nacimiento de una industria capaz no solo de proveer energía y tecnologías al mercado local, sino de generar exportaciones de clase mundial. Por esto, se entiende que dicha industria deberá estar relacionada a un sistema de innovación tecnológico. Consecuentemente, todos los análisis serán desarrollados teniendo como base el marco de análisis de sistemas tecnológicos de innovación presentado en la sección 2.1.

Si bien, el análisis de oportunidades se ha realizado ejemplificando el caso de Chile, el presente trabajo no busca hacer un análisis detallado del caso chileno, sino utilizarlo como referencia para mostrar como factores internos son decisivos para el desarrollo de estrategias y políticas de industrialización, especialmente desde el enfoque latinoamericano.

2 MARCO ANALÍTICO Y METODOLOGÍA

2.1 Acerca del marco analítico de sistemas tecnológicos de innovación

Un sistema de innovación tecnológica (SIT) es un sistema socio-técnico centrado en el desarrollo, la difusión y el uso de una tecnología en particular. Un TIS se compone de los componentes estructurales que son: *actores*, como las empresas, las universidades, los gremios profesionales y organizaciones de interés; *redes*, que pueden ser redes de aprendizaje (los usuarios - proveedores, universidades - industrias) o aquellos que tratan de influir la agenda política (coaliciones); y finalmente *instituciones*, aspectos jurídicos, reglamentarios, cultura, entre otros (Jacobsson y Bergek, 2006).

Existen métodos para medir el rendimiento de un SIT que buscan diseñar políticas y estrategias para fortalecerlo. El enfoque funcional presentado por Bergek et al (2008a) es una síntesis de los enfoques anteriores y se ha utilizado como una herramienta eficaz para analizar el rendimiento y la dinámica del sistema. En este enfoque, hay dos etapas clave: la identificación de los componentes estructurales (descritos anteriormente) y la resolución de problemas que bloquean siete funciones o procesos clave, que son: generación de conocimiento, formación de mercados, experimentación del sector emprendedor, movilización de recursos, dirección de ruta tecnológica, legitimación y generación de externalidades.

Jacobsson y Bergek (2006) sugieren que la formación de un nuevo SIT implica procesos estructurales de entrada de actores, la formación de redes institucionales, formación del mercado y legitimidad de la nueva industria. Además, Carlsson

² En los procesos de convergencia tecnológica es posible hablar de innovación, pero esta es en general innovación incremental, relacionada a mejoras internas de los procesos o adaptaciones de tecnologías a las condiciones locales.

et al (2002), afirman que en esta fase es importante dar atención particular a la formación de conocimiento, su uso y difusión.

2.2 Estrategia de investigación

Para responder la primera pregunta, se ha realizado un análisis de tendencias globales y locales siguiendo la metodología propuesta por Holmberg (2009). Mediante esta metodología se busca identificar tendencias e incertidumbres críticas, a través de un análisis histórico de eventos que impactan en el asunto clave, en este caso, la “formación de una industria solar en Latinoamérica”. La información utilizada se ha acopiado de fuentes indirectas (reportes oficiales, paginas oficiales de internet, artículos científicos, bases de datos gubernamentales, noticias, etc) y ha sido complementada y triangulada con entrevistas semi-estructuradas con algunos expertos.

Para responder la segunda pregunta, se realizará un análisis enfocado en Chile, que explorará tres aspectos fundamentales: la capacidad de innovación en el país, el enfoque hacia la producción de ERNC, y la concientización de las oportunidades de desarrollo de una industria solar. La data para este análisis ha sido recopilada mediante entrevistas semi-estructuradas con diferentes representantes de instituciones públicas y privadas en los sectores de política, educación, empresarial, social, etc. Esta información ha sido complementada y triangulada con información de fuentes indirectas.

Para responder la tercera pregunta, se usará la información precedente como base, y se realizará un análisis teniendo en cuenta el marco analítico para sistemas tecnológicos de innovación, descrito en la sección anterior.

Se ha asegurado la validez interna y constructiva de la data obtenida por las entrevistas, usando indicadores validados para formular los cuestionarios. Por otro lado, los entrevistados han sido seleccionados de acuerdo a dos requerimientos: grado de pertinencia en un sector representativo, y grado de capacidad para la toma de decisiones. Fundación Chile, ha colaborado con la ubicación y acceso a las personas entrevistadas.

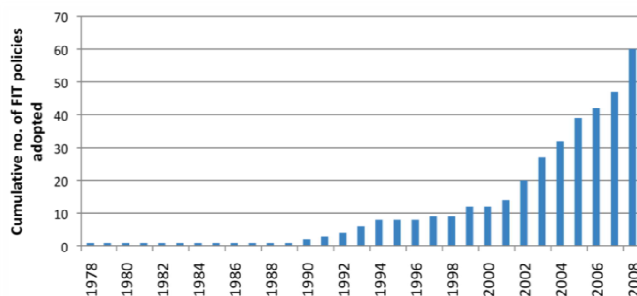
3 CUALES SON LAS OPORTUNIDADES PARA EL DESARROLLO DE UNA INDUSTRIA SOLAR EN PAISES LATINOAMERICANOS?

De acuerdo con la metodología de análisis de tendencias globales e internas, han podido identificarse ciertas tendencias e incertidumbres críticas, que son asociadas con oportunidades. Estas oportunidades serán entendidas en general para países latinoamericanos. En caso de las tendencias internas, se tendrá como referencia el caso de Chile.

4.1 Oportunidades en el contexto global

Expansión de los mercados globales de energía solar (tendencia crítica). Existe una fuerte tendencia de crecimiento del mercado global de energía solar. Esto puede ser explicado en primer término por la adopción, por parte de ciertos países, de mecanismos como la compra de energía por primas a tarifa regulada “*feed in tariffs*” que respaldan el desarrollo de tecnologías que difícilmente podrían competir en el mercado de libre competencia, debido a sus altos costos como la solar. Como se indicó en la introducción, el factor político y regulatorio es un importante catalizador de la adopción de tecnologías de ERNC por los mercados. Como se observa en la figura 1, el número de países con “*feed in tariffs*” ha tenido un crecimiento casi exponencial en menos de una década.

Figura 1: Número acumulado de los países /provincias que han promulgado políticas “*Feed in tariffs*”



Fuente: REN21. 2009.

Consecuentemente la capacidad mundial de electricidad de la energía fotovoltaica ha aumentado en 6,0 GW en 2008, un aumento de 152% más de 2,4 GW instalados en 2007 (Price, 2010). Para el 2008 la capacidad global instalada acumulada ha sido de 13,9 GW PV. Por otra parte, la producción de celdas fotovoltaicas ha experimentado un crecimiento impresionante durante los últimos diez años, con una tasa de crecimiento anual de 46% estando los principales fabricantes

ubicados en Europa, China y Japón (Price, 2010). En el caso de CSP (generación eléctrica por concentración solar) los proyectos en fase de desarrollo o construcción han aumentado espectacularmente desde 2004. Actualmente proyectos bajo contrato o en construcción se desarrollan en Estados Unidos, Emiratos Arabes, Argelia, Egipto, Israel, Italia, Portugal, España y Marruecos (REN21, 2009).

Greenpeace (2010) ha proyectado la capacidad global de CSP en el rango de 18 a 1.500 GW, y el suministro de más de 7.800 TWh en 2050. La Agencia Internacional de Energía (AIE) ha presentado recientemente un programa de energía solar donde se podría proporcionar entre el 20% y 25% de la producción mundial de electricidad, o de 9.000 TWh, el 2050 (IEA, 2010). Adicionalmente, el mega proyecto Desertec tiene como objetivo aportar el 15% de la demanda de electricidad en Europa para el año 2050, a través de plantas solares en el norte de África y Oriente Medio, (Desertec, 2010).

Esta expansión de infraestructura solar, sugiere oportunidades para países o empresas que aspiran a convertirse en futuros proveedores de mercados de masas de tecnologías solares. La mayor difusión de estas tecnologías, conduciría al desarrollo de nuevas aplicaciones, nuevos diseños dominantes y nuevos nichos de mercado, lo que permitirá la entrada de nuevos actores y nuevos líderes en el mercado global mediante diversificación y especialización en la cadena de valor. Esta difusión cada vez mayor también reduciría los costos, riesgos e incertidumbres relacionados con la adopción de nuevas tecnologías, incrementando paulatinamente la demanda mundial y favoreciendo eventualmente a actores pioneros (early movers).

Creciente importancia de mecanismos de financiación internacional para la mitigación al cambio climático (tendencia crítica). Los mecanismos de desarrollo limpio (MDL), establecidos a partir del Protocolo de Kioto para fomentar los esfuerzos de mitigación contra el cambio climático, permiten a los países que no forman parte del Anexo I comercializar certificados verdes con los países industrializados que necesitan cumplir objetivos de reducción de emisiones. Estos mecanismos se basan en un criterio de “adicionalidad”, que permite convertir a económicamente viables, proyectos que no lo son sin los fondos de MDL. La lógica detrás de esto es que puede ser más conveniente y más barato, implementar nuevas fuentes de energía renovable en países en desarrollo en lugar de sustituir la infraestructura tradicional, basada en combustibles fósiles, en países desarrollados.

Pese a ciertas críticas iniciales como la inestabilidad del mercado de certificados o los altos costos de transacción (Boyd et al, 2009), se espera que este tipo de mecanismos cobren mayor importancia comercial en el mercado de carbono en un futuro cercano. Se esperan ciertas reformas que mejorarán el potencial de estos mecanismos. Una alternativa que se ha sugerido es promover en países en desarrollo programas a gran escala de mitigación en sectores enteros como “energía solar”, o al menos en grandes sub-sectores (Schneider et al, 2009).

Al mismo tiempo, ha habido una creciente presión social en el mundo para adoptar medidas más estrictas contra el cambio climático. La COP 15 ha generado expectativas y participación de la sociedad sin precedentes. Pese a que no se han logrado acuerdos vinculantes de reducción de emisiones en los países industrializados, nueva financiación más previsible y más accesible se facilitará a los países en desarrollo para que puedan mejorar y apoyar acciones de mitigación. Esto incluirá financiamientos sustanciales para la reducción de las emisiones, adaptación, desarrollo tecnológico, transferencia tecnológica y creación de capacidades para mejorar la aplicación de la convención (Copenhague Acuerdo, punto 8, de la CMNUCC, 2010). Se espera que estos conductores continúen influenciando futuras decisiones.

Esta, cada vez mayor, financiación internacional para la mitigación al cambio climático en los países en desarrollo sugiere que países Latinoamericanos pueden aprovechar estos recursos para el desarrollo de tecnologías de ERNC. Esto puede permitir la ejecución de proyectos de demostración para la formación de mercados infantiles de energía solar, hecho que puede tener un efecto multiplicativo si estrategias nacionales son propuestas a la comunidad internacional.

Atrapamiento en la economía de carbono (carbón-lock-in) en países industrializados (incertidumbre crítica). Muchos investigadores describen una situación de “atrapamiento” en la economía de carbono de ciertos países industrializados que han pasado a depender de fuentes de energía no sostenible debido a enormes inversiones irrecuperables en corto tiempo (muchos investigadores consideran la energía nuclear como no sostenible). Estos sistemas de energía están dominados por grandes compañías incumbentes que influyen en ciertas decisiones políticas, de manera que las tecnologías tradicionales de combustibles fósiles se mantienen como diseños dominantes (Unruh, 2002). Aunque eventualmente estos incumbentes pueden contribuir al desarrollo de las energías renovables, rara vez ellos son la fuente de innovaciones radicales, (Stern 2006, mencionada por Verbruggen y Lauber 2009). Consecuentemente, el proceso de transición tecnológica en los países de la OCDE es particularmente difícil, ya que el mercado de la energía se ha estancado y las nuevas tecnologías a menudo se perciben como sustitutos, más que complementarios a las tecnologías existentes (Jacobsson y Johnson, 2000).

En cambio, en las economías emergentes, el crecimiento de la demanda de energía es acompañado por una expansión de infraestructuras energéticas (Tabla 1). Dicho de otra manera, los esfuerzos y costos de implementación de tecnologías de ERNC en estos países serían más bajos que en los países industrializados, ya que dichos esfuerzos no implican reemplazar infraestructura energética tradicional. Así mismo, una creciente creencia indica que las economías emergentes tendrían

mejores condiciones para desarrollar innovación tecnológica en el sector de energía renovable, algunos ejemplos en estudio son el caso de bioetanol en Brasil, o tecnologías de captura de carbono en China.

Tabla 1: Cambio en la demanda de electricidad en varios países
Crecimiento durante

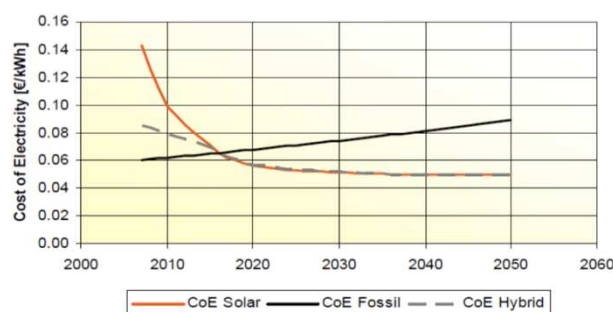
País	1999 - 2009, %
Ecuador	77.7%
Perú	71.6%
Chile	59.4%
China	211.1%
India	65.2%
España	38.2%
Japón	7.6%
EEUU	7.1%
Alemania	7.6%
Suecia	-12.9%

Fuente: BP Statistical Review of World Energy 2010

CSP (generación por concentración solar) compite en costos con gas natural para el año 2015 (incertidumbre crítica). Recientes fuentes estiman que el costo mundial nivelado de generación de electricidad (CNGE) para colectores cilindro-parabólicos de energía solar concentrada (CSP) oscila entre 120 a 250 USD / MW-h, dependiendo del lugar y sin incluir los incentivos gubernamentales (IEA, 2008; REN21 2008). En comparación con esto, FFLA (2009) muestra el CNGE global promedio de gas natural (GN) es alrededor de 50 a 90 USD / MW-h en 2007.

Algunas proyecciones muestran que la generación por CSP aumentará en cuatro veces en el 2015 (Pihl, 2009; Greenpeace, 2009) permitiendo reducir considerablemente los costos (Price, 2010). De acuerdo con esto, algunas proyecciones en los costos de CSP han sido presentadas por algunas organizaciones. Por ejemplo Greenpeace (2009) y AIE (Agencia Internacional de Energía) (2008) esperan que la media del CNGE para CSP superare los 100 USD / MW-h en 2015; mientras que DLR (Instituto Aeroespacial Alemán) (2007) estima que la electricidad generada a partir de CSP podría competir con el GN, ya en el año 2016 (Figura 2) en regiones de alta irradiación solar, aun sin impuestos sobre el carbono. Esto trae implícitas muchas oportunidades para el desarrollo de la industria.

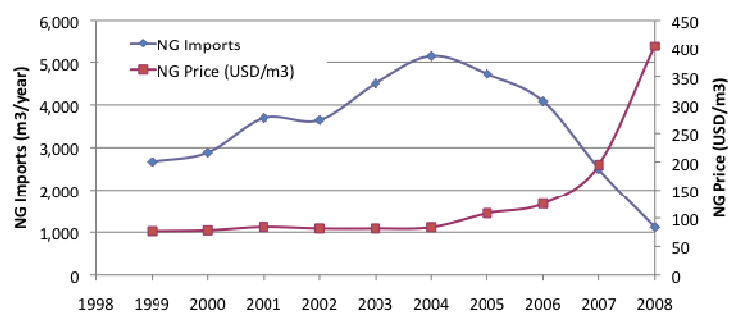
Figura 2: Costo de electricidad generada por plantas de CSP versus plantas de ciclo combinado de GN



Fuente: Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) – Alemania, 2007.

La posibilidad de que CSP compita con el GN también estaría influenciada por las condiciones internas de cada país. Por ejemplo en Chile, debido a la reducción impuesta a las importaciones por parte de Argentina en últimos años, el precio de GN ha ido en aumento (Figura 3). Esto ha obligado a Chile a aumentar el uso de gas natural licuado (GNL) para mantener la operación de centrales eléctricas de gas natural (CNE, 2009), sin embargo hay riesgo de una posible escasez en el mercado mundial de GNL (IEA, 2008). Estas condiciones indican que las centrales de generación por GN podrían ser las primeras en ser sustituidas por CSP.

Figura 3: Evolución histórica de las importaciones y los precios de gas natural en Chile



Fuente: CNE (Comisión Nacional de Energía) - Chile. ([Http://www.cne.cl](http://www.cne.cl))

4.2 Oportunidades en el contexto interno (el caso chileno)

Mega- inversiones para hacer frente la creciente escasez de agua (tendencia). Las empresas mineras en Chile están planeando grandes expansiones para la próxima década, con diecinueve nuevos proyectos mineros y cinco ampliaciones mineras (Cochilco, 2010). Con la expansión de la industria minera, habrá un aumento estimado en el consumo de agua de 373,8 millones de m³ anuales, consumo en el 2009, a 572,2 millones de m³ anuales en 2017 (Cochilco, 2009). La demanda de agua en la región de Atacama solo se espera que crezca un 102% desde 2008 hasta 2020 debido a la apertura prevista de cinco nuevas minas, sin contar con los requerimientos de uso agrícola y humano (Global Water Intelligence, 2009).

Dado esto, se espera que el incremento de la demanda tenga que ser satisfecho con uso de desalinización del agua de mar. De hecho se están desarrollando planes para la instalación de 252 millones de m³/año de la capacidad de agua de mar desalinizada para el año 2020, requiriendo un estimado de más de 7,5 mil millones de dólares en inversiones solo para las plantas de desalinización (Cochilco, 2009).

Estas mega-inversiones no solamente involucran la participación de recursos económicos, sino también de recursos tecnológicos y humanos (tales como proveedores de clase mundial) que pueden convertirse en iniciadores de procesos de aprendizaje y convergencia tecnológica. Del mismo modo, estas inversiones pueden hacer factibles desarrollos híbridos entre tecnologías de desalinización y tecnologías solares; de hecho existen varias plantas piloto de desalinización con tecnología solar, como la desarrollada en la plataforma solar Almería. Finalmente, es evidente que en el caso chileno, estos futuros centros mineros estarían llamados a convertirse en clientes tempranos (early adopters) favoreciendo la formación de mercados infantes.

Aumento de inseguridad y escasez energética (tendencia). En 2008, más del 99,5% de la capacidad de generación de electricidad en la red norte (SING) y más del 43% en la red central (SIC) estuvo basada en carbón, lo que equivale a más del 57% de la generación total de electricidad³ (CNE, 2009). El 90% de este combustible fósil es importado y esto es sin duda una preocupación para Chile. De otro lado, como se comentó brevemente, el 2004 vio el inicio de una crisis del gas natural en Chile (Cochilco, 2010), lo que causó un aumento en los precios de GN (gas natural) de menos de 100 USD/m³ en 2004 a más de 400 USD/m³ en 2008 (Figura 3) causando una disminución de las importaciones de GN de más de 5000 m³ a cerca de 1000 m³ (CNE, 2009). Para compensar esta disminución del consumo de gas natural, la generación de electricidad por diesel aumentó en más del 600% en ese período. Por otra parte, las importaciones de gas licuado de petróleo (GNL) aumentaron junto con inversiones de plantas de transformación de este combustible, para mantener el uso de algunos de los 4,4 GW de capacidad de GN. Este contexto energético se torna a la vez más difícil desde que las tendencias globales, alineadas con tecnologías de reducción de emisiones, son incompatibles con un crecimiento de matrices energéticas basadas en combustibles fósiles.

Sin embargo, visto desde el punto de vista de cambio tecnológico y transformación industrial, de este contexto “adverso” podrían derivarse oportunidades para el nacimiento de una industria solar; así, en un contexto de producción

³ El sistema interconectado norte grande (SING), ubicado en el territorio del desierto de Atacama, provee el 27.4 % de la generación nacional, mientras que el sistema interconectado central (SIC) el 71.4 %, proveyendo principalmente a la ciudad de Santiago.

costosa de energía, la solar podría convertirse en costo efectiva antes que en otras zonas del mundo, propiciando la adopción por parte del mercado de nuevas tecnologías. De hecho, históricamente, condiciones adversas han impulsado la generación de conocimiento e innovación. Por ejemplo el clima duro y estrictas regulaciones obligaron a la industria sueca de camiones pesados a producir camiones duraderos (Nilsson y Dernroth, 1995); del mismo modo, la escasez de agua, el clima árido, junto con el fuerte deseo nacional de convertirse en autosuficiente en alimentos, llevó a Israel al desarrollo de avanzadas tecnologías agrícolas y de un clúster de irrigación de clase mundial (Porter, 1998).

4 CUALES SON LOS RETOS QUE DEBE SUPERAR UNA INDUSTRIA SOLAR LATINOAMERICANA- UN ENFOQUE DESDE CHILE?

Hasta este punto se han puesto en evidencia algunas oportunidades que podrían convertirse en verdaderos conductores del surgimiento de una industria solar en Latinoamérica. Sin embargo, como se menciona en la identificación del problema, la industria solar no es una industria de tecnologías maduras, requiriendo innovación tecnológica para su surgimiento. En esta sección exploramos no solo la capacidad de un país como Chile, en relación al surgimiento de esta industria, sino también aquellos dilemas o decisiones estratégicas clave que Chile deberá tomar para este efecto.

5.1 Explorando la capacidad para el surgimiento de una industria solar

Capacidad para la innovación. El sector industrial en Chile está basado en ocho clústeres principales: la acuicultura, el turismo, la minería del cobre, la deslocalización de servicios, alimentos procesados, frutas, carne de cerdo y aves y los servicios financieros. Básicamente estos clústeres sostienen ventajas comparativas relacionadas con los recursos naturales y mano de obra, siendo la estrategia competitiva más importante la eficiencia en costos. Esto explica que si bien la inversión I+D en Chile del se encuentra por encima del promedio latinoamericano, (0.7% del PBI) (CNIC, 2006), esta se encuentra muy por debajo de Europa (1.9%), EEUU (2.7%) o Japón (3 %) (Piñon, 2005)

La política industrial se encuentra influenciada por el paradigma de mercado "neutral", que se basa en la lógica de que cualquier iniciativa industrial debe ser impulsada por la demanda. Como resultado, las subvenciones de apoyo en determinados sectores industriales no tradicionales se consideran no compatibles. Algunos expertos argumentan que este paradigma es parte de un trauma relacionado con los fallos de la intervención política industrial en América Latina durante los 60's y 70's (Entrevistas, 2010).

Estos factores de alguna manera han contribuido a una "aversión al riesgo" que muestran los sectores empresariales latinoamericanos. De acuerdo con Katz (2009), en Chile, esta aversión es mayor que en Brasil y Argentina, haciendo que las empresas no apliquen estrategias de innovación tecnológica, que requieren períodos más largos de inversión y / o de riesgo (CNIC Informe Final, 2006, Entrevistas, 2010). Esto se manifiesta de otro modo, un una infravaloración de la propiedad intelectual (Banco Mundial, 2009); una cierta debilidad entre las redes de conocimiento universidad-industria (Entrevistas, 2010, Banco Mundial, 2009) y escasa infraestructura para la innovación en relación a formación de capital humano, y disponibilidad de laboratorios, centros de investigación, etc.; problemas presentes en mayor o menor medida en todos los países latinoamericanos (Piñon, 2005)

La situación en Chile, sin embargo, comienza a cambiar con iniciativas que buscan impulsar la innovación en el sector industrial. Un hito importante ha sido la creación del Consejo Nacional de Innovación para la Competitividad (CNIC) en el 2005, entidad que busca entre otras cosas aumentar la importancia de la I + D de largo plazo, estimular nuevos sectores económicos o aumentar la intensidad de conocimiento en ciertos sectores productivos (CNIC, 2009). El sector privado ha dado, en este sentido, algunos pasos importantes. Codelco, la empresa nacional de minería y la compañía minera de cobre más grande del mundo, ha introducido en su modelo de negocios una unidad de desarrollo de nuevas empresas o filiales tecnológicas, que surgen de procesos de desarrollo interno, o alianzas con empresas tecnológicas extranjeras. Estas empresas son algunos de los ejemplos más claros de innovación tecnológica en Chile. (entrevistas, 2010)

En conclusión, dada la aversión al riesgo, la política industrial tradicional y neutral y la baja infraestructura para la innovación tecnológica puede inferirse que la capacidad para innovar es baja, pero que viene aumentando claramente.

Enfoque hacia la producción de energías renovables. A nivel de marco regulatorio, en Chile han habido ciertos avances en relación a la promoción de energías renovables no convencionales. En enero de 2010 una nueva política energética (Ley 20.257) entró en vigor; esta obliga a las empresas de generación eléctrica a proporcionar el 5% de la potencia suministrada, con energía proveniente de ERNC (CNE, 2009). En el 2014 esta política comenzará un aumento gradual de los requisitos de ERNC, hasta alcanzar el 10% en el 2024. Esta política complementa a las políticas anteriores (Ley 19.940, de 2004; Ley 20.018, 2005), que permiten a los pequeños generadores participar en el mercado de la electricidad, y que prestan apoyo al sector de la electricidad de energías renovables y eficiencia energética.

Sin embargo, dado que estas políticas buscan estimular el crecimiento del mercado de ERNC, llevadas por la necesidad de garantizar sostenibilidad, confiabilidad y seguridad en la provisión de energía, estas han favorecido mayormente a las

tecnologías más competitivas en costos, como son micro hidroelectricidad, biomasa, y algunos proyectos eólicos (entrevistas, 2010) desplazando tecnologías más caras en el corto plazo como la solar⁴. Consecuentemente, mecanismos como “feed in tariffs” son considerados como nocivos distorsionadores del mercado eléctrico (entrevistas, 2010).

Sin embargo han habido algunas iniciativas gubernamentales relacionadas con la energía solar. Probablemente la iniciativa política más importante ha sido la implementación de una ley que otorga una bonificación tributaria a los clientes que instalan sistemas de calentamiento solar de agua. Además, FONDEF ha otorgado financiamiento para dos proyectos de energía solar: la elaboración de un modelo de la irradiación en Chile y un estudio de viabilidad de una planta de energía solar tipo chimenea. Finalmente la CNE y CORFO realizarán licitaciones para la construcción de dos plantas de energía solar (de 10 MW por CSP y de 500 kW por fotoceldas), sin embargo estas iniciativas solo tienen como objetivo "acelerar un proceso de aprendizaje en el uso de la tecnología" (Entrevistas, 2010).

En conclusión, considerando el enfoque hacia la producción de ERNC entre actores importantes en Chile puede resaltarse que la difusión de ERNC es reciente y por tanto en una escala muy moderada. El uso de ERNC ha sido impulsado por políticas específicas que favorecen principalmente a las tecnologías más rentables en el corto plazo, como las mini centrales hidroeléctricas, biomasa o ciertos proyectos eólicos.

Así mismo, las inversiones de ERNC tienen como elementos conductores la búsqueda de suministro seguro y confiable de energía. La búsqueda de desarrollo de tecnologías desde el punto de vista industrial, no es considerada como un elemento conductor importante.

Concientización acerca de las oportunidades del desarrollo de una industria solar. En relación a las oportunidades de una expansión de los mercados globales para tecnologías solares, han sido pocos los actores chilenos que han basado sus estrategias corporativas buscando aprovecharlas. En el centro de energías renovables (CER) se ha discutido la posibilidad chilena de convertirse en una plataforma proveedora de ERNC para América Latina, asimismo algunos expertos infieren que el sector de ERNC podría convertirse en un clúster principal en Chile; pero en definitiva, en ambos casos no hay nada claro en el corto plazo (entrevistas, 2010) Por consiguiente, puede decirse que no existe alguna intención clara para participar en futuros mercados de este tipo de tecnologías.

Aunque los autores de este estudio perciben como importante oportunidad la utilización de mecanismos internacionales de financiación para la mitigación del cambio climático, estas oportunidades estuvieron fuera del alcance de los actores entrevistados. CONAMA ha aprobado cincuenta y un proyectos de MDL (CONAMA, 2010), sin embargo, esto resultó ser de poco interés entre los actores, para desarrollar tecnologías menos maduras como la solar. Algunos actores, de hecho, argumentan que el financiamiento de estos mecanismos ha sido muy incierto y sólo es útil para las tecnologías ERNC más maduras.

En cuanto a las posibles mejores condiciones de innovación tecnológica en el sector de ERNC (comparadas con países industrializados atrapados en una economía de carbono), no hay indicativo claro de que se busque aprovechar de alguna manera esta ventaja. Por otro lado sin embargo, la expectativa de que la generación solar por CSP compita con GN en Chile a partir del año 2015, ha conducido a Fundación Chile, Codelco y otros actores locales, a promover proyectos dentro del marco de la plataforma solar Atacama. Sin embargo, muchos de estos actores han argumentado que promoverán el uso de energía solar, siempre que sea costo competitivo. Esto implicaría un desplazamiento de esta tecnología en caso de que no llegue a abaratar sus costos suficientemente en el corto plazo.

Si bien la mayoría de oportunidades en el contexto internacional no han sido en general elementos conductores de estrategias corporativas de actores en Chile, las oportunidades en el contexto interno lo son y en importante medida. La situación de una posible crisis energética ha llevado al gobierno a establecer planes de desarrollo de ERNC, pero, a la vez, a un crecimiento de la matriz energética basada en carbón. Algunas empresas como Aquavant, ven ya interesantes oportunidades para la provisión de tecnologías de desalinización en el norte de Chile. Finalmente, el proyecto plataforma solar Atacama, promovido por Fundación Chile, busca utilizar energía solar, para solución problemas de forma integral, relacionados con las tendencias internas expuestas anteriormente.

5.2 Que implica desarrollar una industria solar en Latinoamérica?: Dilemas estratégicos

Con el conociendo no solo de las oportunidades, sino también de la, baja pero creciente, capacidad de desarrollo de la industria solar en un país como Chile, la presente sección muestra tres dilemas que ciertas instituciones en Chile deberán enfrentar en caso se busque el desarrollo de una industria solar. En caso estos dilemas no puedan ser resueltos, se estima que las posibilidades de surgimiento de una industria solar de clase mundial son pocas.

Aplicar la política tradicional “neutral” o una política de innovación? Este dilema se presenta dos tipos de política industrial, una neutral que se centra en mejorar la competitividad mediante el aumento de la eficiencia en costos en industrias tradicionales y otra de innovación tecnológica que se enfoca en la promoción de nuevos sectores, de importancia

⁴ Estas tecnologías ya han saturado, en menos de cuatro meses, el mercado de 5% de electricidad por ERNC reduciendo los incentivos en nuevos proyectos inclusive de eólicos. De hecho, las inversiones en esta tecnología han estado estacadas los últimos dos años (entrevistas, 2010)

estratégica y con tendencia tecnológica. Este enfoque se realiza a través de soporte a la formación de mercados infantiles tal y como ha sucedido en diferentes casos de nueva industrialización como ocurre en el sector de energía renovable en Alemania, España y otros países.

Es importante mencionar que otros países se han enfrentado con éxito al mismo dilema en el pasado. Jacobsson y Alam (1994, p.59) describen los esfuerzos de Corea para impulsar industrias nacientes más tecnológicas, en un entorno dominado por los sectores tradicionales. Corea tuvo que desarrollar estrategias que tratan las industrias ya establecidas de manera muy diferente a las industrias incipientes, dando paso a una intervención selectiva. Las estrategias mencionadas estaban destinadas a aprovechar las ventajas comparativas de los operadores históricos y construir otras nuevas en el caso de las industrias infantiles.

Para dar paso a un esquema de impulso a nuevos sectores tecnológicos y estratégicos deben vencerse ciertos obstáculos como aquellos relacionados al paradigma de la “neutralidad” en la política industrial. En caso de energía solar, estas políticas permitirían la existencia de ciertas aplicaciones solares costo-efectivas en el corto plazo y obstaculizarían el desarrollo de aplicaciones con futuro potencial tanto en el mercado de energía como de componentes tecnológicos. Otro obstáculo importante, en el caso de Chile, es la baja coordinación entre los organismos que elaboran políticas. Explícitamente, se ha encontrado que los sectores de energía e industrial tienen agendas distintas, que podrían entorpecerse por falta de coordinación en caso se requiera desarrollar la industrial solar, persiguiendo más ciertos objetivos industriales (venta de tecnologías) que energéticos (provisión interna de energía).

Otros obstáculos a vencer son la falta de conocimiento y concientización acerca de las oportunidades, en el contexto internacional, para el desarrollo de la industria solar, que llevan a diferentes actores en Chile a pensar en la oportunidad de energía solar, solo en el corto plazo, y bajo los esquemas tradicionales de eficiencia y reducción de costos.

Aplicar convergencia tecnológica para reducir costos o hacer innovación tecnológica? Como se ha comentado, experiencias previas de innovación en Chile se han centrado en la adaptación y la innovación incremental de tecnologías más maduras (convergencia tecnológica). El propósito principal de estas innovaciones ha sido reducir costos y aumentar eficiencia en sectores tradicionales fuertes. El tema de innovación tecnológica no incremental ha sido subvalorado en este esquema.

Uno de los principales obstáculos para ir más allá de la convergencia tecnológica es la aversión al riesgo del sector empresarial e industrial en Latinoamérica y específicamente en Chile. Este comportamiento hace que los empresarios y quienes toman las decisiones eviten el riesgo que naturalmente implica el desarrollo de tecnología. Al mismo tiempo, hay una mentalidad fuerte, que desestima la posibilidad de alcanzar altas metas en materia de desarrollo tecnológico y de crecimiento económico. Estos argumentos resaltan la falta de profesionales o recursos dedicados a I + D, así como la baja capacidad de innovación de Chile en comparación con las naciones desarrolladas.

Este último argumento no deja de ser válido. Promover innovación tecnológica requerirá sobrepasar obstáculos relacionados a la débil institucionalidad para la innovación, los aun escasos incentivos para la iniciativa innovadora empresarial, la aún escasa disponibilidad de capital de riesgo, y en general la aún débil infraestructura para innovación tecnológica. En este sentido, son más los países latinoamericanos que tiene una peor perspectiva que la presentada desde el caso de Chile.

Sostener la expansión minera con energía basada en carbón o basada en ERNC? Este dilema surge en el contexto de un aumento de demanda energética por la expansión de proyectos mineros en el desierto de Atacama- Chile. Como se expresó anteriormente estos mega-proyectos exigirán la movilización de grandes recursos tales como agua, energía, tecnología, conocimiento y capital humano. De hecho, la provisión de energía no solo deberá estar en función a la demanda industrial de los nuevos centros mineros sino también la necesidad de obtener agua por desalinización, proceso que es intensivo en energía.

Solucionar el problema de demanda de energía basándose en una mentalidad tradicional, llevarían a los actores involucrados a incentivar los proyectos de generación basados en carbón. Esta es una alternativa mucho menos costosa que la ERNC que permitiría continuar una ruta de “bajos costos” en la producción minera. Sin embargo, es necesario notar que una proliferación de infraestructura de carbón posicionaría a Chile en una ruta incompatible con las tendencias energéticas modernas, conduciéndolo a una situación similar a la que experimentan países atrapados en la economía de carbono.

Usar ERNC para la expansión de estos proyectos mineros implica hacerlo teniendo nuevos elementos conductores. Es lógico que no se pudiera usar ERNC para cubrir el 100% de la nueva demanda; sin embargo, pueden establecerse estrategias que “utilicen” esta coyuntura para crear nuevos mercados infantiles para estas tecnologías, promoviendo el desarrollo de aplicaciones que puedan ser productos de exportación en el futuro. Esto podría hacerse no solo apalancando fondos internacionales para mitigación al cambio climático, sino promoviendo sinergias tecnológicas, dada la movilización de recursos tecnológicos y humanos (por ejemplo la promoción de tecnologías de desalinización con energía solar). Usar ERNC y ubicar a Chile en una ruta compatible a la tendencia energética mundial, implicaría cambiar esquemas tradicionales en el sector energía e industrial y lógicamente resolver los problemas relacionados a la infraestructura para la innovación.

5 CONCLUSIONES

La industria solar presenta grandes oportunidades para países latinoamericanos, no solo por el potencial solar existente, sino por oportunidades en un contexto global. Sin embargo esta industria no se compone de tecnologías maduras que pudieran ser transferidas en procesos de convergencia tecnológica, tal y como ha sucedido en ejemplos de industrialización moderna en países en desarrollo; su surgimiento requiere innovación tecnológica.

Países latinoamericanos como Chile, con una baja capacidad e infraestructura para la innovación tecnológica deberán enfrentar dilemas y decisiones clave a nivel político, empresarial y social a fin de viabilizar el desarrollo de una industria solar. Sin embargo, cada país deberá desarrollar estrategias propias relacionadas a sus contextos internos.

En esta sección se muestran algunos elementos clave que pueden ser utilizados por personas encargadas de la toma de decisiones relacionadas con el desarrollo de esta industria.

5.1 Elementos clave para el desarrollo de una industria solar

Trascender la convergencia tecnológica: del aprendizaje activo a la innovación. Sin duda, para ir más allá de la convergencia tecnológica, hay una necesidad de cambios estructurales a nivel institucional a fin de fortalecer el sistema de innovación nacional (la construcción o fortalecimiento de instituciones de capital intelectual, capital de riesgo, de redes conocimiento, etc.). Este cambio, también debe darse a nivel infraestructural, con énfasis en la infraestructura de formación de conocimiento (capital humano, equipos, laboratorios, etc). Esto contribuiría a reducir aversión al riesgo de los actores.

Existen también una necesidad de difundir las oportunidades de industrialización basada en la innovación tecnológica, en general, y las oportunidades de construir una industria de energía solar. Tanto la innovación (como estrategia industrial), como la energía solar (como sector estratégico), deben ser legitimadas a nivel técnico y de gestión. Esto así sucedió en el caso del nacimiento de la industria de semiconductores en Taiwán (Mathews, 2006)

Trascender la convergencia (o la mera adopción y adaptación de tecnologías) requiere también de políticas tradicionales y no tradicionales que permitan alcanzar, en una fase intermedia, un aprendizaje “activo” basado en una gestión de innovación que utiliza recursos externos (inversión extranjera directa, Joint Ventures, unidades de inteligencia tecnológica) y estimula procesos de desarrollo interno (I+D)⁵.

Finalmente esta ruta hacia la innovación debe seguir una ruta de dirección tecnológica. Para el caso chileno, dado el excelente potencial para las tecnologías de concentración solar, esta ruta podría empezar con el desarrollo de estas (tecnologías de concentración) no necesariamente con el único fin de producir energía eléctrica en el corto plazo. Algunas aplicaciones como generación de calor para desalinizar agua u otros usos industriales pueden permitir la formación de un mercado interno infante, que promueva la producción de componentes compatibles con la generación por CSP, y por tanto con oportunidad para ser proveídos en mercados internacionales en el futuro.

Estimular conscientemente a una nueva industria solar. Como se ha mostrado anteriormente, el desarrollo de una industria joven de tecnologías no maduras implica un estímulo por parte del gobierno. Para hacer posible esto en Latinoamérica y específicamente en Chile, la política industrial tiene que ser modificada a fin de introducir la innovación tecnológica como estrategia competitiva. Así mismo, el sector de energía solar, debe ser considerado como un sector estratégico, de modo que se beneficie de las nuevas políticas industriales.

Pero cambiar la política implica la necesidad de formar y fortalecer coaliciones de promoción del sector. Estas coaliciones pueden aumentar la legitimación de la tecnología solar. La formación de coaliciones ha sido importante conductor en el surgimiento de muchos sistemas de innovación tecnológica como el caso de la energía solar en Alemania (Jacobsson y Lauber, 2006).

Estimular una nueva industria implica también promover liderazgo, eliminar rigidez y fortalecer compromiso y coordinación entre los actores. El liderazgo, flexibilidad y coordinación proactiva por parte de instituciones gubernamentales desempeñan un papel central para las iniciativas de formación de nuevas industrias, ya que estas rompen esquemas tradicionales. Por ejemplo, el desarrollar una industria solar con fines industriales, implica liderazgo desde el sector industrial y coordinación y reorientación de políticas del sector energía.

Convertirse en parte del cambio tecnológico global y no resistirse a él. Esto significa básicamente estar alineado con las tendencias globales actuales, donde la des-carbonización de los procesos industriales y de generación, el uso de ERNC, el beneficio de productos con baja huella de carbono, son entre otros, procesos que se fortalecerán en el futuro. Estos fenómenos co-existen no solo con coyunturas favorables, como la oportunidad que tienen países en vías de industrialización de convertirse en líderes en innovación en los sectores ERNC, sino también con ciertos mecanismos, que

5 Chandra (2006), presenta una lista de 10 políticas de intervención específica observadas en 10 casos exitosos de industrialización por transferencia tecnológica en países en desarrollo, entre ellas: Negociar con las empresas multinacionales; spin-off de empresas nacionales; Facilitar la adquisición y difusión de tecnologías; Fomento de la exportación y Apoyo a organizaciones de la industria y coaliciones.

la comunidad internacional ha puesto y pondrá a su disposición para hacer frente al gran reto global de mitigar el cambio climático. De hecho, estos mecanismos necesitan de la participación y creatividad de estos países, en la preparación de propuestas nacionales que no solo permitan una reducción más eficaz y menos costosa de las emisiones globales, sino que los lleve países a una real participación en el futuro de un mercado libre de carbono.

Comenzar utilizando capacidades tecnológicas existentes. El desarrollo de una nueva industria tecnológica en un país en desarrollo requerirá la participación de cuantas capacidades tecnológicas estén disponibles, para suplir las deficiencias en el sistema. Por ejemplo para el caso de Chile, Codelco, gracias a su experiencia en la promoción de industrias tecnológicas, probablemente se convierta en un pilar importante para una iniciativa que busque desarrollar una industria de tecnologías solares. Tal como sucedió en el caso de las industrias proveedoras locales en relación con las multinacionales electrónicas establecidas en Taiwán, proveedores locales serán también posibles iniciadores de procesos de aprendizaje activo y de innovación. Estrategias de este tipo han sido desarrolladas por BHP, la segunda minera más grande de Chile (entrevistas, 2010)

Analizar oportunidades en el contexto externo e interno. Pese a que, en el contexto global, las oportunidades para el desarrollo de una industria solar son accesibles en general para todos los países latinoamericanos, cada país deberá hacer un análisis de sus condiciones internas para descubrir sus propias oportunidades y amenazas. Por ejemplo en el caso de Chile, la movilización de recursos destinados a soportar la expansión minera en Atacama, es una oportunidad interna interesante. El 5% de las inversiones destinadas solo para desalinizar agua, equivalen a aproximadamente al costo de la planta Andasol 1 en España (DLR, 2010) (\$ 350 millones aprox.). Con una capacidad de 50 MW y producción anual de 150 GWh / año (Flagsol GmbH, 2010) una planta como esta podría cubrir más del 20% de los requerimientos de energía anual de la demanda de agua desalada, y reducir las emisiones de CO² hasta en 150.000 toneladas / año.

5.2 Algunas lecciones desde Chile: la estrategia de un constructor de sistema de innovación

Tal y como se mencionó anteriormente, en Chile se han dado algunos ejemplos de nueva industrialización en los que ha estado involucrada una organización clave: Fundación Chile. Gracias a su prestigio institucional y mediante un modelo de negocios basado en identificación de oportunidades, gestión de transferencia tecnológica e incubación de negocios innovadores en sectores clave, Fundación Chile ya ha creado 76 empresas que han contribuido con más de EE.UU. \$ 2 billones en volumen de negocios a la economía de Chile desde su creación (Fundación Chile, 2009). Sin duda, esta organización actúa como un constructor de nuevos sistemas de aprendizaje y de innovación, permitiendo cubrir las carencias del sistema.

Fundación Chile ha desarrollado varias iniciativas en materia de energía renovable por medio de su División de Energía y Medio Ambiente. Los principales proyectos se han relacionado con la promoción de la eficiencia energética y estudios de factibilidad para ERNC. En el caso de la Iniciativa de la plataforma solar Atacama, esta ha venido coordinando acciones para inducir la formación de un futuro clúster solar en el desierto de Atacama. Fundación Chile ha logrado comprometer recursos de Codelco y del Gobierno Regional de Atacama (GORE) para desarrollar proyectos de exploración inicial de ciertas aplicaciones como uso de cobre en producción de celdas fotovoltaicas o procesos de desalinización de agua con energía solar. De acuerdo con el marco de análisis de sistemas de innovación, la acción de Fundación Chile contribuye con el fortalecimiento de funciones estructurales de un sistema, como la legitimación, el desarrollo de conocimiento, estimulación del emprendedurismo tecnológico, formación de mercados infantiles entre otros; constituyéndose en un verdadero constructor del sistema.

Agradecimientos

Al profesor Staffan Jacobsson, de la Universidad de Chalmers, por orientación académica y metodológica
A Fundación Chile por co-financiamiento, colaboración en la toma de data y logística
Al Centro de Investigación para Innovación y Dinámica de las Economías (RIDE) Suecia, por co-financiamiento
Al Consejo Nacional de Investigación de Ciencias Naturales e Ingeniería – Canadá, por co-financiamiento

REFERENCIAS

- Azar, C., and Rodhe, H., 1997. Targets for Stabilization of Atmospheric CO₂. *Science*, Vol 276, 1818 – 1819.
Azar, C, 2005. Post-Kyoto climate policy targets: costs and competitiveness implications. *Climate Policy*, Vol. 5, 309 – 328.
Behnke, R. P., et al., 2009. Non-Conventional Renewable Energy in the Chilean Electricity Market. Published by: Comisión Nacional de Energía (CNE), Santiago de Chile, 2009.
Bell, M., 2006. Time and technological learning in industrializing countries: how long does it take? How fast is it moving (if at all)? *International Journal of Technology Management*, Vol. 36, No. 1-3, 25 – 39.
Bergek, A., Staffan Jacobsson, Bo Carlsson, Sven Lindmark, Annika Rickne, 2008a. Analyzing the functional dynamics of technological innovation systems: a scheme of analysis. *Research Policy*, Vol. 37, 407-429.

- Bergek, A., Jacobsson, S., Sandén, B., 2008b. "Legitimation" and "development of positive externalities": two key processes in the formation phase of technological innovation systems. *Technology Analysis and Strategic Management*, Vol. 20:5, 575-592.
- Bergek and Jacobsson, 2010. Are tradable green certificates a cost-efficient policy driving technical change or a rent-generating machine? Lessons from Sweden 2003–2008. *Energy Policy*, Vol. 38, 1255–1271.
- Borregaard, N., Katz, R., 2009. Opciones para la Matriz Energética Eléctrica: Insumos para la Discusión. *Futuro Latinamerico (FFLA)*. Quito, Ecuador.
- Boyd, E., et al., 2009. Reforming the CDM for sustainable development: lessons learned and policy futures. *Environmental Science & Policy*, Vol. 12, 820-831.
- Carlsson, B., Eliasson, G., 2001. Industrial dynamics and endogenous growth. Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, Sweden.
- Carlsson, B., 2006. Internationalization of innovation systems: a survey of the literature. *Research Policy*, Vol. 35, 56-67.
- Chandra, V., 2006. Technology, adaptation, and exports: How some developing countries got it right. Washington DC: World Bank Publications.
- CNIC [Consejo Nacional de Innovación para la Competividad], 2006. Final Report: Advisor to the President of the Republic. CNIC: Gobierno de Chile. Santiago de Chile.
- Cochilco [Comisión Chilena del Cobre], 2009. Gestion del Recurso Hídrico y la Minera en Chile: 'Proyección Consumo de Agua en la Minería de Cobre, 2009 – 2020. Comisión Chilena del Cobre [Cochilco]. Santiago de Chile.
- Cochilco [Comisión Chilena del Cobre], 2010. Demanda de Energía Eléctrica en la Minería del Cobre y Perspectivas de Seguridad en su Abastecimiento. Cochilco, Santiago de Chile.
- CNE [Comisión Nacional de Energía], et al., 2008. Irradiancia Solar en Territorios de la República de Chile. CNE, United Nations Development Program, Global Environment Facility, Universidad Técnica Federico Santa María. Santiago de Chile.
- CNE [Comisión Nacional de Energía] and Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, 2009. Las Energías Renovables No Convencionales en el Mercado Eléctrico Chileno. CNE. Santiago, Chile.
- Desertec, 2010. Desertec the red paper. <http://www.desertec.org/>
- DLR, 2010. Andasol 1: The largest solar power station officially inaugurated http://www.dlr.de/en/desktopdefault.aspx/tabid-1/86_read-17179/
- Dorf, R., Byers, T. Technology ventures – from idea to enterprise. MC Graw – Hill, 2006.
- Dreborg, K., 1996. Essence of Backcasting. *Futures*, Vol. 28, No. 9, 813-828.
- Fennhan, J., 2009. CDM Pipeline Data. United Nations Environment Programme (UNEP Risoe Centre, February 2010)
- Fundación Chile, 2009. Atacama Solar Platform: New Business Ideas in Chile – March 2009. Presentation
- Global Water Intelligence, December 2009. A new dawn for desalination in Chile. Vol 10, Issue 12 (December 2009). <http://www.globalwaterintel.com/archive/10/12/general/a-new-dawn-for-desalination-in-chile.html>
- Greenpeace, 2010. Energía térmica de concentración, perspectiva mundial 2009. Disponible en http://www.solarpaces.org/Library/docs/CSP_2009_Spanish.pdf
- Holmberg, 2009. Backasting and Scenario Analysis. Presentación de ponencia en el congreso "sustainable technology development". Universidad Politécnica de Cataluña, España. Disponible en: http://www.upc.edu/sostenible2015/menu2/Seminari/Post_Seminari_STD/docs/j_holmberg_at_upc_2008.pdf
- IEA [International Energy Agency], 2009. Key World Energy Statistics: 2009. International Energy Agency. Paris, France.
- Jacobsson, S., 1993. The Length of the Infant Industry Period: Evidence from the Engineering Industry in South Korea. *World Development*, Vol. 21, No. 2, 407-419.
- Jacobsson, S., Alam, G., 1994. Liberalization and industrial development in the third world. A comparison of the Indian and South Korean engineering industries. New Dehli: Sage publications.
- Jacobsson, S., Johnson, A., 2000. The diffusion of renewable energy technology: an analytical framework and key issues for research. *Energy Policy*, 28, 625-640.
- Jacobsson, S., Sandén, B., Bångens, L., 2004. Transforming the energy system: the evolution of the German Technological System for Solar Cells. *Technology Analysis and Strategic Management*. Vol. 16, No 1, 3-30.
- Jacobsson, S., Bergek, A., 2006. A framework for guiding policy-makers intervening in emerging innovation systems in "catching up" countries. *The European Journal of Development Research*, Vol. 18, No. 4, 687-707.
- Jacobsson, S., Lauber, V., 2006. The politics and policy of energy system transformation – explaining the German diffusion of renewable energy technology. *Energy Policy*, 34, 256 – 276.
- Katz, J., 2006. Structural change and domestic technological capabilities. *Cepal Review* 89.
- Mathews, J., 2006. Electronics in Taiwan- A case of technological learning. Compiled in: *Technology adaptation and exports: how some developing countries got it right*. The World Bank.
- Metz, B., Davidson, O., Bosch, P., Dave, R., Meyer, L. (Eds.), 2007. *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the 4th Assessment Report of the IPCC*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Mills, D., 2004. Advances in solar thermal electricity technology. *Solar Energy*, Vol. 76, pp. 19 – 31.
- Ollerros, J., 1986. Emerging industries and the burnout of pioneers. *Journal of Product Innovation Management*, Vol. 3, Issue 1, 5-18
- Perez-Aleman, P., 2005. Cluster formation, institutions and learning: the emergence of lusters and development in Chile. *Industrial and Corporate Change*, Vol. 14, No 4, 1-27.
- Piñón, F., 2005. Ciencia y tecnología en América Latina: una posibilidad para el desarrollo. Recuperado el 12 abril 2010 de <http://www.campusoei.org/salactsi/pinon.pdf>
- Porter, M., 1998. Clusters and the New Economics of Competition, *Harvard Business Review*, November-December.
- Price, S., and Margolis, R., 2010. 2008 Solar technologies market report. U.S. Department of Energy.
- PRIEN, 2000. Estimación del potencial de la eficiencia en el uso de la energía eléctrica al abastecimiento del Sistema Interconectado Central, elaborated by PRIEN - Universidad de Chile for Chile Sustentable, (2008). As presented by ffla in: *Opciones para la Matriz Energética Eléctrica*, 2009.

- REN21. 2009. Renewables Global Status Report: 2009 Update (Paris: REN21 Secretariat). Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH.
- Schneider, M., Hendrichs, H., and Hoffmann, V., 2009. Navigating the global carbon market and analysis of the CDM's value chain and prevalent business models. *Energy Policy*, vol. 38, 277-287.
- Smil V., 2003. *Energy at the Crossroads: Global Perspectives and Uncertainties*. MIT Press, 2005. Cambridge, Massachusetts.
- Solomon, S. (Ed.), 2007. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, USA, 996.
- UNFCCC- United Nations Framework Convention on Climate Change. "Approved baseline and monitoring methodologies of CDM." Available at: <http://cdm.unfccc.int/methodologies/PAMethodologies/approved.html> [Accessed February 15, 2010].
- UNIDO [United Nations Industrial Development Organization], 2005. Industrial Development Report: Capability building for catching-up, Historical, empirical and policy dimensions. Available at: <http://www.unido.org/> [Accessed November 23, 2009]
- UNIDO [United Nations Industrial Development Organization], 2009. Industrial Development Report: Breaking In and Moving Up: New Industrial Challenges for the Bottom Billion and the Middle-Income Countries. Available at: <http://www.unido.org/> [Accessed November 23, 2009]
- Unruh, G., 2002. Escaping carbon lock-in. *Energy Policy*, 30, 317-325.
- UTFSM [Universidad Técnica Federico Santa María], Universidad de Chile, 2008. Estimación del aporte potencial de las Energías Renovables No Convencionales y del Uso Eficiente de la Energía Eléctrica al Sistema Interconectado Central (SIC) en el período 2008-2025. Santiago de Chile.
- Verbruggen, A., Lauber, V., 2009. Basic concepts for designing renewable electricity support aiming at a full-scale transition by 2050. *Energy Policy*, 37, 5732-5743.
- Weaver, et al., 2000. *Sustainable Technology Development*. Greenleaf Publishers, Sheffield, 2000.
- World Bank, 2009. *Fostering Technology Transfer and Commercialization: Chile*. World Bank, Chile.